



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit mindestens einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur (11) und mindestens einer Pumpstrahlungsquelle (20) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11), bei der die Pumpstrahlungsquelle (20) eine kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) aufweist. Die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur (11) und die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) sind auf einem gemeinsamen Substrat (1) epitaktisch aufgewachsen. Mit dieser monolithisch hergestellten Halbleiterlaservorrichtung ist vorteilhafterweise ein sehr effektives und homogenes optisches Pumpen der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur möglich. Weiterhin sind Verfahren zum Herstellen von erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtungen angegeben.

Beschreibung

Optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit mindestens einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur und mindestens einer Pumpstrahlungsquelle zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur, bei der die Pumpstrahlungsquelle eine kantenemittierende Halbleiterstruktur aufweist.

10

Sie bezieht sich weiterhin auf ein Verfahren zum Herstellen einer derartigen Halbleiterlaservorrichtung.

15

Eine Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art ist aus der US 5,991,318 bekannt. Hierin ist ein optisch gepumpter Vertikalresonator-Halbleiterlaser mit einer monolithischen oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur beschrieben. Bei dieser bekannten Vorrichtung wird die optische Pumpstrahlung, deren Wellenlänge kleiner ist als die der erzeugten Laserstrahlung, von einer kantenemittierenden Halbleiterlaserdiode geliefert. Die kantenemittierende Halbleiterlaserdiode ist extern derart angeordnet, daß die Pumpstrahlung schräg von vorne in den Verstärkungsbereich der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur einstrahlt wird.

20

25

Ein besonderes Problem bei dieser bekannten Vorrichtung besteht darin, daß der Pumplaser exakt zur oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur positioniert sein muß und zusätzlich einer optischen Einrichtung zur Strahlfokussierung bedarf, um die Pumpstrahlung exakt in den gewünschten Bereich der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur abzubilden. Diese Maßnahmen sind mit erheblichem technischen Aufwand verbunden.

30

35

Außerdem treten neben den Verlusten an den Optiken auch Koppelverluste auf, die den Gesamtwirkungsgrad des Systems reduzieren.

- 5 Ein weiteres Problem besteht darin, daß aufgrund des Pumpens von vorne nur wenige Quantentöpfe durch Pumpstrahlung angeregt werden können.

10 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art mit vereinfachter Justage von Pumpquelle und oberflächenemittierender Schichtstruktur und mit hoher Ausgangsleistung zur Verfügung zu stellen. Weiterhin soll ein technisch einfaches Verfahren zur Herstellung einer solchen Vorrichtung angegeben
15 werden.

Die erstgenannte Aufgabe wird durch eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 25.

Verfahren zur Herstellung von erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtungen sind Gegenstand der Patentansprüche 26 und
25 28. Besonders bevorzugte Ausführungsformen dieser Verfahren sind Gegenstand der Unteransprüche 27 und 29.

Gemäß der Erfindung ist bei einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur und die kantenemittierende Halbleiterstruktur auf einem gemeinsamen Substrat epitaktisch aufgewachsen. Die Schichtdicken der einzelnen Halbleiterschichten lassen sich bei der Epitaxie sehr genau einstellen, so daß vorteilhafterweise eine hohe
30 Positioniergenauigkeit der kantenemittierenden Halbleiterstruktur zur strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur erreicht wird.
35

Weiterhin läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein homogenes optisches Pumpen der Quantentopfstruktur für hohe Ausgangsleistungen im Grundmodus erzielen.

5

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform ist die oberflächenemittierende Quantentopfstruktur und die Pumpstrahlungsquelle derart nebeneinander auf dem Substrat angeordnet sind, daß ein strahlungsemittierender Bereich der Pumpstrahlungsquelle und die Quantentopfstruktur auf gleicher Höhe über dem Substrat liegen. Dadurch wird erreicht, daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung Pumpstrahlung seitlich in die Quantentopfstruktur eingekoppelt wird. Das bedeutet, daß die Strahlachse der Pumpstrahlung im Wesentlichen parallel zur Substratoberfläche und damit im Wesentlichen vertikal zur Strahlachse des von der oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung erzeugten Laserstrahls verläuft.

Im Betrieb wird bei einer derartigen Vorrichtung die Quantentopfstruktur von den Seitenflächen her zunächst transparent „gepumpt“, bis schließlich deren gesamte laterale Querschnittsfläche laseraktiv ist. Durch das seitliche optische Pumpen wird zudem ein gleichmäßiges Füllen der Quantentöpfe mit Ladungsträgern erreicht.

25

Bevorzugt ist die Quantentopfstruktur von der kantenemittierenden Halbleiterstruktur umschlossen. In dieser ist mittels mindestens eines Strominjektionspfades auf der Oberfläche der Halbleiterlaserstruktur mindestens ein gewinngeführter strahlungsemittierender aktiver Bereich ausgebildet, der als Pumpstrahlungsquelle dient. Alternativ dient als Pumpstrahlungsquelle mindestens ein indexgeführter strahlungsemittierender aktiver Bereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur. Dieser ist beispielsweise mittels mindestens eines Strominjektionspfades auf der Oberfläche der kantenemittierenden Halbleiterstruktur in Verbindung mit entlang dem Stro-

35

minjektionspfad ausgebildeten, beispielsweise geätzten Gräben in der Halbleiterstruktur definiert.

Vorzugsweise weisen die der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur zugewandten Enden der Strominjektionspfade zu dieser einen Abstand von $10\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$, besonders bevorzugt ca. $30\mu\text{m}$ auf. Dadurch werden störende Leckströme und andere störende Einflüsse an den Grenzflächen zwischen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur und der oberflächenemittierenden Schichtenfolge, d.h. den Einkoppelflächen für die Pumpstrahlung, reduziert.

Die oben angegebenen Ausführungsformen lassen sich vorteilhafterweise insgesamt mittels herkömmlicher Halbleiterprozesstechnik fertigen.

Fließt im Betrieb der Vorrichtung ein hinreichend hoher Strom durch die Injektionspfade in die aktive Schicht der Pumpstrahlungsquelle, kommt es zur Ausbildung verstärkter Spontanemission (Superstrahlung), die in den oberflächenemittierenden Laserbereich geführt und dort absorbiert wird. Die dadurch erzeugten Elektron-Loch-Paare werden in den Quantentöpfen gesammelt und führen zur Inversion im Verstärkungsbereich der oberflächenemittierenden Laserstruktur.

Die Anregung der oberflächenemittierenden Laserstruktur kann durch Pumpen der Quantentopfstruktur oder von an diese angrenzende Confinementschichten erfolgen. Im Falle des Pumpens der Confinementschichten wird die Pumpeffizienz vorzugsweise dadurch erhöht, daß deren Bandlücke zur Quantentopfstruktur hin abnimmt. Dies kann beispielsweise mittels Änderung der Materialzusammensetzung erreicht werden. Dadurch werden in den Confinementschichten interne elektrische Felder erzeugt, die die optisch generierten Ladungsträger in den aktiven Quantentopfbereich treiben.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind mehrere Pumpstrahlungsquellen sternförmig um die Quantentopfstruktur angeordnet, so daß in kurzer Zeit und sehr homogen die Quantentopfstruktur über ihren gesamten lateralen Querschnitt
5 transparent „gepumpt“ und laseraktiv wird.

Die Grenzfläche zwischen kantenemittierender Halbleiterstruktur und Quantentopfstruktur ist vorzugsweise zumindest teilweise reflektierend. Dadurch wird erreicht, daß sich an der
10 Kante zum oberflächenemittierenden Laserbereich eine Rückreflexion in die kantenemittierende Halbleiterstruktur ergibt, was zur Ausbildung von Laserstrahlung in der Pumpquelle und damit zu erhöhter Pumpeffizienz führt.

15 Erzeugung von Laserstrahlung als Pumpstrahlung und damit erhöhte Pumpeffizienz wird alternativ dadurch erreicht, daß jeweils zwei an gegenüberliegenden Seiten der Quantentopfstruktur angeordnete Pumpstrahlungsquellen zusammen eine Laserstruktur bilden. Die von der Quantentopfstruktur abgewandten,
20 parallel zueinander liegenden Endflächen der kantenemittierenden Strahlungsquellen sind dazu als Spiegelflächen ausgebildet und dienen als Resonatorspiegel. Diese können beispielsweise durch Spalten und/oder Ätzen (z.B. Trockenätzen) erzeugt und mit einer Passivierungsschicht versehen und/oder
25 hochreflektierend verspiegelt sein.

Die gegenüberliegenden Pumpstrahlungsquellen sind im Betrieb über die transparent gepumpte Quantentopfstruktur zu einem einzigen kohärent schwingenden Laser gekoppelt. Bei optimaler
30 Endverspiegelung steht dann bis auf die Verluste an den Grenzflächen zwischen Pumplaser und oberflächenemittierendem Laser die gesamte im Pumplaser gespeicherte optische Leistung als Pumpleistung zur Verfügung.

35 Bevorzugt besitzt die kantenemittierende Halbleiterstruktur eine Large Optical Cavity(LOC)-Struktur. Bei dieser ist eine aktive Schicht zwischen einer ersten und einer zweiten Wel-

lenleiterschicht eingebettet, die wiederum zwischen einer ersten und einer zweiten Mantelschicht eingebettet sind.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, die kantenemittierende Halbleiterstruktur als Ringlaser zu bilden. Unter einem Ringlaser ist dabei eine Laserstruktur zu verstehen, bei der sich im Betrieb Ringmoden ausbilden können. Die Gestaltung des zugehörigen Laserresonators in Ringform ist dabei, wie im folgenden noch erläutert wird, vorteilhaft, jedoch nicht zwingend.

Der Resonator eines solchen Ringlasers kann mittels totalreflektierender Grenzflächen gebildet werden, so daß vorteilhafterweise keine hochreflektierenden Spiegel erforderlich sind. Damit wird auch die Gefahr einer geringeren Strahlungsausbeute aufgrund von Schäden an den Spiegeln reduziert. Weiterhin zeichnet sich ein Ringlaser durch ein vorteilhaft großes Modenvolumen und eine hohe Modenstabilität aus.

Bevorzugt ist die zu pumpende Quantentopfstruktur innerhalb des Ringresonators angeordnet, so daß das gesamte resonatorinterne Strahlungsfeld zum Pumpen der Quantentopfstruktur zur Verfügung steht. Besonders vorteilhaft ist es hierbei, die aktive Schicht der kantenemittierenden Halbleiterstruktur und die Quantentopfstruktur in derselben Höhe über dem Substrat anzuordnen, so daß sich ein großer Überlapp zwischen dem zu pumpenden Volumen der Quantentopfstruktur und dem Strahlungsfeld der kantenemittierenden Halbleiterstruktur und damit eine hohe Pumpeffizienz ergibt.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der Resonator des Ringlasers von einem ringförmig geschlossenen Wellenleiter gebildet. Die Führung des Pumpstrahlungsfeldes erfolgt darin durch Totalreflexion an den Begrenzungen des Wellenleiters, so daß auch hier vorteilhafterweise keine hochreflektierenden Spiegel benötigt werden. Weiterhin kann durch die Formgebung des ringförmig geschlossenen Wellenlei-

ter das Pumpstrahlungsfeld sehr gut an das zu pumpende Volumen der Quantentopfstruktur angepaßt werden.

Die kantenemittierende Halbleiterstruktur ist bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung von einem Medium umgeben, dessen Brechungsindex geringer ist als der Brechungsindex der Halbleiterstruktur. Dadurch entsteht an dem Übergang vom Halbleiter in das optisch dünnere, umgebende Medium eine totalreflektierende Fläche, die als Begrenzung des Laserresonators dient. Zur Bildung eines ringförmig geschlossenen Wellenleiters kann innerhalb der kantenemittierenden Halbleiterstruktur eine mit einem optisch dünneren Medium gefüllte Ausnehmung angeordnet sein.

Als umgebendes Medium eignet sich aufgrund des geringen Brechungsindex insbesondere Luft oder ein anderes gasförmiges Medium. Alternativ kann die kantenemittierende Halbleiterstruktur auch von einem anderen Material wie beispielsweise einem Halbleitermaterial, einem Halbleiteroxid oder einem Dielektrikum mit geringerem Brechungsindex umschlossen sein.

Bevorzugt ist die Halbleiterstruktur als zylindrischer Stapel kreisförmiger oder ringförmiger Halbleiterschichten gebildet. Der so geformte zylindrische Halbleiterkörper stellt zugleich den Ringlaserresonator dar, an dessen Mantelflächen das Strahlungsfeld totalreflektierend geführt wird.

Alternativ kann die Halbleiterstruktur auch prismatisch als Stapel von Halbleiterschichten in Form von Vielecken oder Vieleckringen gebildet sein. Durch diese Formgebung kann eine weitgehend homogene Strahlungsverteilung und entsprechend eine weitgehend homogene Pumpdichte in der Quantentopfstruktur erzielt werden.

Ein Stapel von Halbleiterschichten der beschriebenen Form kann vergleichsweise einfach, zum Beispiel durch Ätzen aus einer zuvor epitaktisch hergestellten Halbleiterschichten-

folge gebildet werden. Vorteilhafterweise wird so mit der Formung des Halbleiterkörpers zugleich auch der Laserresonator der kantenemittierenden Halbleiterstruktur gebildet, ohne daß zusätzliche Verspiegelungen erforderlich sind.

5

Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Halbleiterlaservorrichtung besitzt die Quantentopfstruktur mehr als 10 Quantentöpfe. Diese hohe Zahl von Quantentöpfen ist möglich, weil aufgrund der seitlichen Einkopplung der Pumpstrahlung
10 alle Quantentöpfe unmittelbar gepumpt werden. Dadurch wird vorteilhafterweise eine hohe Verstärkung in der oberflächene-mittierenden Quantentopfstruktur erzielt.

Die kantenemittierende Halbleiterstruktur ist bevorzugt der-
15 art ausgebildet, daß sie eine Pumpwelle erzeugt, deren Maximum auf Höhe der Quantentöpfe über dem Substrat liegt, besonders bevorzugt auf Höhe des Zentrums der Quantentopfstruktur.

Um besonders hohe Ausgangsleistungen zu erhalten, ist bei ei-
20 ner vorteilhaften Weiterbildung die kantenemittierende Halbleiterstruktur als sogenannter Mehrfach- oder Microstack-Laser mit mehreren laseraktiven Schichtfolgen (z.B. Doppelheterostrukturen) ausgebildet, die über Tunnelübergänge in Reihe geschaltet sind. Die Quantenwellstruktur weist dann vor-
25 teilhafterweise mehrere Quantenwellgruppen auf, die jeweils in Höhe einer laseraktiven Schichtenfolge der Pumpquelle liegen.

Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer optisch
30 gepumpten oberflächene-mittierenden Halbleiterlaservorrichtung gemäß den oben angegebenen Ausführungsformen wird zunächst auf ein Substrat eine für einen oberflächene-mittierenden Halbleiterlaser geeignete ersten Halbleiterschichtenfolge mit mindestens einer Quantentopfstruktur auf ein Substrat aufge-
35 bracht. Danach wird die erste Halbleiterschichtenfolge außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs entfernt. Auf dem nach dem Entfernen der ersten Halbleiterschichtenfolge freigeleg-

ten Bereich über dem Substrat wird nachfolgend eine kantene-
mittierende zweite Halbleiterschichtenfolge abgeschieden, die
geeignet ist, Pumpstrahlung zu erzeugen und in die Quanten-
topfstruktur zu senden. Nachfolgend wird in der kantenemit-
5 tierenden Halbleiterschichtenfolge mindestens ein Strominjek-
tionspfad ausgebildet.

Vorzugsweise wird zunächst eine Bufferschicht auf das Sub-
strat aufgebracht. Auf dieser wird eine erste Confinement-
10 schicht abgeschieden. Auf die erste Confinementschicht wird
nachfolgend eine für einen oberflächenemittierenden Halblei-
terlaser geeignete Quantentopfstruktur aufgebracht, der eine
zweite Confinementschicht folgt. Nach dem Entfernen der Con-
finementschichten und der Quantentopfstruktur und teilweise
15 der Bufferschicht außerhalb des vorgesehenen oberflächenemit-
tierenden Laserbereichs werden dann auf den freigelegten Be-
reich der Bufferschicht eine erste Mantelschicht, eine erste
Wellenleiterschicht, eine aktive Schicht, eine zweite Wellen-
leiterschicht und eine zweite Mantelschicht nacheinander auf-
20 gebracht. Die jeweiligen Schichtdicken sind derart ausgelegt,
daß die in der aktiven Schicht erzeugte Pumpstrahlung in die
Quantentopfstruktur gelangt.

Bei einer anderen Ausführungsform der Halbleiterlaservorrich-
25 tung gemäß der Erfindung sind die strahlungsemittierende
Quantentopfstruktur und die Pumpstrahlungsquelle übereinander
auf dem Substrat angeordnet. Die Quantentopfstruktur ist
hierbei an die kantenemittierende Halbleiterstruktur optisch
gekoppelt, so daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung
30 Pumpstrahlung von der Pumpstrahlungsquelle in die Quanten-
topfstruktur geführt wird.

Die kantenemittierende Halbleiterstruktur weist bevorzugt ei-
ne erste Wellenleiterschicht und eine vom Substrat gesehen
35 dieser nachgeordnete zweite Wellenleiterschicht auf, zwischen
denen eine aktive Schicht angeordnet ist. Die Quantentopf-
struktur ist auf der zweiten Wellenleiterschicht epitaktisch

aufgewachsen, überdeckt nur einen Teilbereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur und ist an diese optisch angekoppelt.

- 5 Zur Verbesserung der Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur ist die Grenzfläche zwischen zweiter Wellenleiterschicht und angrenzender Mantelschicht in der Nähe des oberflächenemittierenden Laserbereichs zur Quantentopfstruktur hin gebogen oder geknickt.

10

- Um die Einkopplung von Pumpstrahlung in die oberflächenemittierende Halbleiterstruktur zu verbessern ist vorteilhafterweise der Brechungsindex der zweiten Wellenleiterschicht größer als der Brechungsindex der ersten Wellenleiterschicht
15 und/oder ist die aktive Schicht asymmetrisch in dem von den beiden Wellenleiterschichten ausgebildeten Wellenleiter platziert.

- In der kantenemittierenden Halbleiterstruktur sind als
20 Pumpstrahlungsquellen vorzugsweise analog zur oben beschriebenen ersten Ausführungsform einer oder mehrere gewinngeführte und/oder indexgeführte strahlungsemittierende aktive Bereiche ausgebildet.

- 25 Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung gemäß der oben angegebenen zweiten grundsätzlichen Ausführungsform und deren Weiterbildungen wird zunächst auf ein Substrat eine kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge
30 aufgebracht. Auf diese wird dann eine oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge mit mindestens einer Quantentopfstruktur aufgebracht. Danach wird die oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs entfernt, bevor mindestens ein Strominjektionspfad in der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge
35 ausgebildet wird.

Vorzugsweise wird hierzu zunächst eine Bufferschicht auf das Substrat aufgebracht. Nachfolgend wird auf dieser nacheinander eine erste Wellenleiterschicht, eine aktive Schicht und eine zweite Wellenleiterschicht abgeschieden. Auf die so her-

5 gestellte kantenemittierende Schichtenfolge wird dann eine erste Confinementschicht, eine oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge mit einer Quantentopfstruktur und eine zweite Confinementschicht aufgebracht. Die Confinement-

10 schichten, die oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge und teilweise die zweite Wellenleiterschicht werden dann außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs entfernt.

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung einer

15 optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung mit einem Ringlaser als Pumpstrahlungsquelle wird zunächst wie bereits beschrieben auf einem Substrat eine oberflächenemittierende Halbleiterschichtenfolge mit mindestens einer Quantentopfstruktur aufgebracht, die Schich-

20 tenfolge außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs entfernt und die kantenemittierende Halbleiterstruktur der Pumpstrahlungsquelle auf den dadurch freigelegten Bereich aufgebracht.

Daraufhin wird der Außenbereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur zur Formung des Laserresonators entfernt. Bevorzugt wird dabei auch ein zentraler Teilbereich im Inneren der Halbleiterstruktur zur Bildung eines Ringresonators abgetragen. Die Entfernung dieser Teilbereiche kann beispielsweise mittels eines Trockenätzverfahrens erfolgen. Mit Vorteil

30 ist keine aufwendige Nachbearbeitung der geätzten Flächen erforderlich.

Alternativ können die Verfahrensschritte auch in anderer Reihenfolge angewendet werden. Beispielsweise kann auf dem Sub-

35 strat zunächst eine kantenemittierende Halbleiterstruktur aufgebracht werden, die dann im vorgesehenen Laserbereich der (noch zu bildenden) Quantentopfstruktur abgetragen wird. Auf

den freigelegten Bereich wird im nächsten Schritt die oberflächenemittierende Halbleiterschichtenfolge mit mindestens einer Quantentopfstruktur aufgebracht. Abschließend wird wieder der Außenbereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur zur Formung des Laserresonators entfernt. In einer Variante des Verfahrens kann die Formung des Laserresonators auch vor der Aufbringung der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge stattfinden.

Bei einer bevorzugten Weiterbildung der beiden oben angegebenen Ausführungsformen ist auf einer Seite der Quantentopfstruktur eine hochreflektierende Braggreflektor-Schichtenfolge ausgebildet, die einen Resonatorspiegel der oberflächenemittierenden Laserstruktur darstellt. Als zweiter, teildurchlässiger Resonatorspiegel ist auf der gegenüberliegenden Seite der Quantentopfstruktur eine weitere Braggreflektor-Schichtenfolge oder ein externer Spiegel angeordnet.

Bevorzugt besteht das Substrat aus einem Material, das für den in der Halbleiterlaservorrichtung erzeugten Laserstrahl durchlässig ist und ist der hochreflektierende Braggreflektor auf der vom Substrat abgewandten Seite der Quantentopfstruktur angeordnet. Dies ermöglicht eine kurze Verbindung zwischen den Halbleiterstrukturen und einer Wärmesenke und damit eine gute Wärmeableitung aus den Halbleiterstrukturen.

Um störende Quermoden (= Moden parallel zum Substrat - whispering modes) zu verhindern, sind im Randbereich und/oder in Ätzstrukturen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaser-schichtenfolge Absorberschichten angeordnet.

Die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung eignet sich insbesondere zur Anwendung in einem externen Resonator, in dem sich ein frequenzselektives Element und/oder ein Frequenzverdoppler befindet.

Vorteilhafterweise kann die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung über Modulation des Pumpasers durch Modulation des Pumpstromes oder über Kurzschlußschaltung der oberflächennemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge moduliert werden.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Vorrichtung und der Verfahren gemäß der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Figuren 1 bis 14 beschriebenen Ausführungsbeispielen.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein erstes Ausführungsbeispiel,

Figuren 2a bis 2e eine schematische Darstellung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 1,

Figur 3a eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein zweites Ausführungsbeispiel,

Figur 3b eine schematische Darstellung einer vorteilhaften Ausgestaltung des Wellenleiters des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 3a,

Figuren 4a bis 4c eine schematische Darstellung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 3,

Figur 5 eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine erste Anordnung von Strominjektionspfaden auf einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur;

Figur 6 eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine zweite Anordnung von Strominjektionspfaden auf einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur,

5 Figur 7 eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine dritte Anordnung von Strominjektionspfaden auf einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur,

Figuren 8a und b schematische Darstellungen von Halbleiterlaservorrichtungen mit Absorberschichten,
10

Figuren 9a und b eine schematische Darstellung eines Schnittes und einer Draufsicht eines ersten Ausführungsbeispiels mit einem Ringlaser als Pumpstrahlungsquelle,
15

Figur 10 eine schematische Darstellung einer Draufsicht eines zweiten Ausführungsbeispiels mit einem Ringlaser als Pumpstrahlungsquelle,

20 Figur 11a und b eine schematische Darstellung einer Draufsicht eines dritten und vierten Ausführungsbeispiels mit jeweils zwei Ringlasern als Pumpstrahlungsquelle,

Figur 12a und b eine schematische Darstellung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 9,
25

Figur 13 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtung mit einem externen Resonator und
30

Figur 14 eine schematische Darstellung einer modulierbaren Halbleiterlaservorrichtung gemäß der Erfindung.

35 Gleiche oder gleich wirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

Das Ausführungsbeispiel von Figur 1 ist beispielsweise ein optisch gepumpter oberflächenemittierender Halbleiterlaserchip mit einer Laseremission bei 1030nm. Bei diesem ist auf einem Substrat 1 eine Bufferschicht 6 aufgebracht. Das Substrat 6 besteht beispielsweise aus GaAs und die Bufferschicht 6 aus undotiertem GaAs.

Auf der Bufferschicht 6 ist mittig über dem Substrat eine oberflächenemittierende Halbleiterlaserstruktur 10 mit einer Quantentopfstruktur 11 aufgebracht, die den oberflächenemittierenden Laserbereich 15 darstellt. Die Halbleiterlaserstruktur 10 setzt sich zusammen, aus einer unmittelbar auf der Bufferschicht 6 befindlichen ersten Confinementschicht 12, einer auf dieser angeordneten Quantentopfstruktur 11 und einer auf der Quantentopfstruktur 11 aufgebrachten zweiten Confinementschicht 13.

Die Confinementschichten 12,13 bestehen beispielsweise aus undotiertem GaAs und die Quantentopfstruktur 11 weist zum Beispiel eine Mehrzahl (≥ 3) von Quantenwells auf, die aus undotiertem InGaAs bestehen, deren Dicke auf die Emission bei 1030nm eingestellt ist und zwischen denen sich Barrierschichten aus GaAs befinden.

Über der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserstruktur ist ein Braggspiegel 3 mit beispielsweise 28 bis 30 Perioden GaAlAs(10%Al)/ GaAlAs(90%Al) abgeschieden, der einen hochreflektiven Resonatorspiegel darstellt.

In der Umgebung des Laserbereichs 15 ist auf der Bufferschicht 6 eine kantenemittierende Halbleiterlaserstruktur 21, beispielsweise eine bekannte Large Optical Cavity(LOC)-Single Quantum Well(SQW)-Laserstruktur für eine Emission bei ca. $1\mu\text{m}$ abgeschieden. Diese setzt sich beispielsweise zusammen, aus einer ersten Mantelschicht 28 (z.B. n-GaAl_{0.65}As), einer ersten Wellenleiterschicht 23 (z.B. n-GaAl_{0.1}As), einer aktiven Schicht 25 (z.B. eine undotierte InGaAs-SQW), einer zweiten

Wellenleiterschicht 24 (z.B. p-GaAl_{0.1}As) und einer zweiten Mantelschicht 29 (z.B. p-GaAl_{0.65}As).

5 Auf der zweiten Mantelschicht 29 kann als Deckschicht 30 beispielsweise eine p⁺-dotierte ist GaAs-Schicht aufgebracht sein.

10 Der LOC-Bereich 22 ist höhengleich mit dem Quantentopfbereich der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 angeordnet, vorzugsweise befindet sich die aktive Schicht 25 in gleicher Höhe über dem Substrat 1 wie die Quantentopfstruktur 11.

15 Bei einer besonderen Ausführungsform dieses Ausführungsbeispiels weist die kantenemittierende Halbleiterstruktur 21 mehrere aktive Schichten 25 auf, die mittels Tunnelübergänge in Reihe geschaltet sind. Die Quantentopfstruktur 11 weist analog dazu mehrere Quantentopfgruppen aufweist, die jeweils in Höhe einer aktiven Schicht 25 der kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21 liegen.

20 Sämtliche Halbleiterschichten sind beispielsweise mittels metallorganischer Dampfphasenepitaxie (MOVPE) hergestellt.

25 In der Nähe des äußeren Randes der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 befinden sich senkrecht zu den Schichten der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 verlaufende Endspiegel 31, die ausgehend von der Deckschicht 30 mindestens bis in die erste Mantelschicht 28, hier bis in die Bufferschicht 6 reichen. Diese sind beispielsweise nach dem
30 Aufwachsen der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 mittels Ätzen (z.B. reaktives Ionenätzen) von entsprechenden Gräben und deren nachfolgendem Füllen mit hochreflektierendem Material hergestellt. Es sind jeweils zwei zueinander parallele Spiegel 31 auf gegenüberliegenden Seiten der Quanten-
35 topfstruktur 11 angeordnet (vgl. Figuren 5 und 6).

Alternativ können die Endspiegel in bekannter Weise durch Spalten des Wafers entlang von Kristallebenen hergestellt werden. Diese sind dann notwendigerweise nicht, wie in Figur 1 dargestellt, im Chip angeordnet, sondern durch die gespal-

5 tenen Chipseitenflächen gebildet (vgl. Figur 7).

Auf der freien Oberfläche der Deckschicht 30 und des Braggspiegels 3 befindet sich eine elektrisch isolierende Maskenschicht 7, beispielsweise eine Siliziumnitrid- eine

10 Aluminiumoxid- oder eine Siliziumoxidschicht, mit der Strominjektionspfade 26 der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 definiert sind (vgl. Figuren 5 und 6). Auf der Maskenschicht 7 und, in deren Aussparungen für die Strominjektionspfade 26, auf der Deckschicht 30 ist eine p-

15 Kontaktschicht 32, z.B. eine bekannte Kontaktmetallisierung, aufgebracht.

Für die Pumpquelle sind beispielsweise sechs symmetrisch sternförmig um den oberflächenemittierenden Laserbereich 15

20 angeordnete Streifenarrays mit fünfzehn Streifen ($4\mu\text{m}$ Streifen, $10\mu\text{m}$ Pitch) und mit ca. $150\mu\text{m}$ aktiver Breite gewählt.

Vorzugsweise weisen die der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur 11 zugewandten Enden der Strominjektionspfade 26

25 zu dieser einen Abstand von $10\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$, besonders bevorzugt von ca. $30\mu\text{m}$ auf. Dadurch werden störende Leckströme und andere störende Einflüsse an den Grenzflächen zwischen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21 und der oberflächenemittierenden Schichtenfolge 10, d.h. an den Einkoppelflächen

30 für die Pumpstrahlung 2, reduziert.

Alle Strominjektionspfade 26 können mit einer gemeinsamen p-Kontaktschicht 32 versehen sein, wodurch die strahlungsemit-

35 tierenden Bereiche der kantenemittierenden Struktur im Betrieb parallel geschaltet sind. Bei vorgesehener getrennter Ansteuerung dieser einzelnen strahlungsemitierenden Bereiche ist eine entsprechend strukturierte p-leitende erste Kontakt-

schicht 32 aufgebracht. Dadurch kann eine optimierte Pumplichtverteilung (z.B. ähnlich einem Gaußprofil) über den lateralen Querschnitt der oberflächenemittierenden Struktur erzeugt werden.

5

Zur Erzeugung von indexgeführten Pumpbereichen in der kantenemittierenden Struktur 21 können in dieser entlang den Strominjektionspfaden 26 zum Beispiel mittels Ätzen hergestellte Gräben ausgebildet sein (in den Figuren nicht dargestellt), die beispielsweise bis $0,5\mu\text{m}$ in die zweite Wellenleiterschicht 24 reichen. Dadurch wird eine verbesserte Wellenführung an den Rändern der Pumpbereiche erzielt.

Die von der Halbleiterstruktur abgewandte Hauptfläche 16 des Substrats 1 ist bis auf ein Austrittsfenster 8 für den Laserstrahl (angedeutet durch den Pfeil 5) mit einer n-leitenden zweiten Kontaktschicht 9, z.B. ebenfalls eine bekannte Kontakmetallisierung, versehen.

Die Hauptfläche 16 des Substrats ist vorzugsweise im Bereich des Austrittsfensters 8 entspiegelt, um Rückreflexionen in den Chip zu verringern.

Ein Laserresonator der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 kann aus dem Braggspiegel 3 und einem auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats 1 angeordneten externen weiteren Spiegel (in Figur 1 nicht dargestellt) oder einem zwischen dem Substrat 1 und der Quantentopfstruktur 11 angeordnetem weiteren Braggspiegel gebildet sein.

30

Im Betrieb des Halbleiterchips wird in den durch die Strominjektionspfade 26 definierten Bereichen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21, die die Pumpstrahlungsquelle 20 darstellt, Pumpstrahlung (angedeutet durch die Pfeile 2) erzeugt und in die Quantentopfstruktur 11 der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 eingekoppelt.

35

Bei ausreichender Rückreflexion an der Grenzfläche zwischen kantenemittierender 21 und oberflächenemittierender Struktur 10 und geeigneter Lage der Endspiegel 31 wird in der kantene-

5 mitterenden Struktur 21 Laserstrahlung erzeugt, was zu einer erhöhten Pumpeffizienz führt.

Vorzugsweise sind die Endspiegel 31 derart zueinander angeordnet, daß diese einen Laserresonator für zwei einander gegenüberliegende strahlungsemitterende Bereiche der kantene-

10 mitterenden Struktur 21 ausbilden. Die zwei gegenüberliegenden strahlungsemitterenden Bereiche sind dann nach dem Transparentpumpen der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 zu einem einzigen kohärent schwingenden Laser verkoppelt. Bei optimaler Verspiegelung der Endspiegel 31 steht dann bis

15 auf Verluste an der Grenzfläche zwischen kantenemittierender 21 und oberflächenemittierender Struktur 10 die gesamte vom Pumplaser erzeugte optische Leistung als Pumpleistung zur Verfügung.

20 Bei dem in den Figuren 2a bis 2e schematisch dargestellten Verfahren zur Herstellung der Ausführungsbeispiele gemäß Figur 1 werden zunächst auf das Substrat 1 nacheinander die Bufferschicht 6, die erste Confinementschicht 12, die Quantentopfstruktur 11, die zweite Confinementschicht 13 und die

25 Braggspiegelschichten 3 beispielsweise mittels MOVPE aufgebracht (Figur 2a).

Danach wird auf den als oberflächenemittierenden Laserbereichs 15 vorgesehenen Bereich dieser Schichtenfolge eine

30 Ätzmaske 17 (z.B. eine Si-Nitridmaske) aufgebracht. Nachfolgend werden außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs 15 die Braggspiegelschichten 3, die Confinementschichten 12 und 13, die Quantentopfstruktur 11 und teilweise die Bufferschicht 6 beispielsweise mittels Ätzen,

35 z.B. Trockenätzen mittels Cl-Chemie, entfernt (Figur 2b).

Auf den freigelegten Bereich der Bufferschicht 6 werden dann die erste Mantelschicht 28, die erste Wellenleiterschicht 23, die aktive Schicht 25, die zweite Wellenleiterschicht 24, die zweite Mantelschicht 29 und die Deckschicht 30 nacheinander
5 beispielsweise wiederum mittels MOVPE aufgebracht (Figur 2c).

Beispielsweise mittels reaktivem Ionenätzen und geeigneter bekannter Maskentechnik werden dann in die zuletzt aufgebraachte kantenemittierende Struktur 21 Gräben für die Endspiegel 31 geätzt (vgl. Figur 2d), die nachfolgend mit reflexionssteigerndem Material beschichtet oder gefüllt werden. Weiterhin wird die Ätzmaske 17 entfernt.

Nachfolgend wird auf die Deckschicht 30 und den Braggspiegel 3 die elektrisch isolierende Maskenschicht 7 aufgebracht, bevor abschließend die p-Kontaktschicht 32 und die n-Kontaktschicht 9 hergestellt werden (Figur 2e).

Optional werden vor dem Aufbringen der isolierenden Maskenschicht 7 die oben in Verbindung mit Figur 1 beschriebenen Gräben zur Erzeugung von indexgeführten Pumplasern mittels Ätzen hergestellt.

Zur Verminderung von Strahlungsverlusten wird vorzugsweise das Substrat 1 nach der MOVPE beispielsweise auf unter $100\mu\text{m}$ gedünnt oder vollständig entfernt.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 befindet sich auf dem Substrat 1 zunächst ganzflächig eine Bufferschicht 6 und eine kantenemittierende Halbleiterlaserstruktur 21, bei der zwischen einer ersten 23 und einer zweiten Wellenleiterschicht 24 eine aktive Schicht 25 angeordnet ist.

In einem vorgesehenen Laserbereich 15 über der Mitte des Substrats 1 ist auf der zweiten Wellenleiterschicht 24 eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur 11, gefolgt von

einer Confinementschicht 13 und einer Braggspiegel-Schichtenfolge 3, aufgewachsen.

Im Bereich um den Laserbereich 15 ist auf die zweite Wellenle-
5 leiterschicht 24 oder ggf. auf eine auf dieser aufgetragenen
hochdotierten Deckschicht eine elektrisch isolierende Masken-
schicht 7 aufgebracht, die Ausnehmungen für Strominjekti-
onspfade 26 der kantenemittierenden Struktur 21 aufweist
(vgl. Figur 7). Auf der elektrisch isolierenden Maskenschicht
10 7 und in deren Ausnehmungen auf der zweiten Wellenleiter-
schicht bzw. auf der Deckschicht befindet sich eine erste
Kontaktschicht 32 und auf der dieser gegenüberliegenden Seite
des Substrats 1 ist eine zweite Kontaktschicht 9 mit einem
Austrittsfenster 8 für den Laserstrahl (angedeutet durch den
15 Pfeil 5) angeordnet.

Zur Erzeugung von indexgeführten Pumpbereichen in der kan-
tenemittierenden Struktur 21 können in der zweiten Wellenlei-
terschicht 24 entlang den Strominjektionspfaden 26 zum Bei-
20 spiel mittels Ätzen hergestellte Gräben ausgebildet sein (in
den Figuren nicht dargestellt). Dadurch wird eine verbesserte
Wellenführung an den Rändern der Pumpbereiche erzielt.

Als Endspiegel 31 der kantenemittierenden Struktur 21 sind
25 hier beispielsweise gespaltene Flanken des Chips vorgesehen.

Im Betrieb wird in der kantenemittierenden Laserstruktur Pum-
plaserstrahlung erzeugt, von der ein Teil in die darüberlie-
gende Quantentopfstruktur 11 eingekoppelt wird.

30 Um die Einkopplung zu fördern, befindet sich die aktive
Schicht 25 asymmetrisch in dem von den zwei Wellenleiter-
schichten 23,24 gebildeten Wellenleiter. Alternativ oder zu-
sätzlich kann zum gleichen Zweck der Brechungsindex der zwei-
35 ten Wellenleiterschicht 24 höher sein als der der ersten Wel-
lenleiterschicht 23 und/oder kann die zweite Wellenleiter-

schicht zum Laserbereich 15 hin in Richtung Quantentopfstruktur 11 hochgezogen sein (vgl. Figur 3b).

5 Als Materialien für die verschiedenen Schichten lassen sich hier beispielhaft die für die entsprechenden Schichten des Ausführungsbeispiels gemäß Figur 1 angegebenen Materialien verwenden.

10 Ein Laserresonator der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 kann auch bei diesem Ausführungsbeispiel aus dem Braggspiegel 3 und einem auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats 1 angeordneten externen weiteren Spiegel (in der Figur 3a nicht dargestellt) oder einem zwischen dem Substrat 1 und der Quantentopfstruktur 11 angeordnetem weiteren
15 Braggspiegel gebildet sein.

Bei dem in den Figuren 4a bis 4c schematisch dargestellten Verfahren zum Herstellen einer Vorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel von Figur 3a wird zunächst auf das Substrat 1
20 eine Bufferschicht 6 aufgebracht. Auf dieser wird nachfolgend die erste Wellenleiterschicht 23, die aktive Schicht 25 und die zweite Wellenleiterschicht 24 nacheinander aufgewachsen. Danach wird auf die zweite Wellenleiterschicht 24 die Quantentopfstruktur 11, gefolgt von der Confinementschicht 13 und
25 der Braggspiegelschicht 3 aufgewachsen (Figur 4a). Diese Schichten werden beispielsweise mittels MOVPE hergestellt.

Nachfolgend wird auf den als Laserbereich 15 vorgesehenen Teilbereich der aufgewachsenen Schichtenfolge eine Ätzmaske
30 17 aufgebracht und die Braggspiegelschicht 3, die Confinementschicht 13, die Quantentopfstruktur 11 und teilweise die zweite Wellenleiterschicht 24 außerhalb der Laserbereichs 15 mittels Ätzen entfernt (Figur 4b).

35 Danach wird zur Definition der Strominjektionspfade 26 die elektrisch isolierende Maskenschicht 7 auf die zweite Wellen-

leiterschicht 24 aufgebracht, bevor dann die erste Kontaktschicht 32 abgeschieden wird.

5 Nachfolgend wird auf die der Halbleiterschichtenfolge gegenüberliegende Hauptfläche des Substrats 1 die zweite Kontaktschicht 9 mit einem Austrittsfenster 8 aufgebracht (Figur 4c).

10 Zur Verminderung von Strahlungsverlusten wird auch hier vorzugsweise das Substrat 1 nach der MOVPE beispielsweise auf unter $100\mu\text{m}$ gedünnt oder vollständig entfernt.

15 Die erfindungsgemäßen sogenannten Scheibenlaser werden vorzugsweise mit dem Braggspiegel nach unten auf eine Wärmesenke gelötet. Eine Elektrode befindet sich auf der Wärmesenke, die zweite wird durch Bondung auf der Scheibenlaser-Oberfläche erzeugt.

20 Um störende Quermoden (= Moden parallel zum Substrat - whispering modes) zu verhindern, sind im Randbereich und/oder in Ätzstrukturen der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge 15 Absorberschichten 18 angeordnet (vgl. Figuren 8a und 8b). Geeignete Absorbermaterialien für derartige Anwendungen sind bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert.

30 In Figur 9a ist ein Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleitervorrichtung mit einem Ringlaser als Pumpstrahlungsquelle dargestellt. Die Abfolge der einzelnen Halbleiterschichten entspricht im wesentlichen dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel.

35 Im Unterschied zu der in Figur 1 dargestellten Halbleitervorrichtung ist die kantenemittierende Halbleiterstruktur 21, umfassend die ersten Mantelschicht 28 (z.B. $\text{n-GaAl}_{0.65}\text{As}$), die erste Wellenleiterschicht 23 (z.B. $\text{n-GaAl}_{0.1}\text{As}$), die aktive

Schicht 25 (z.B. InGaAs-SQW), die zweite Wellenleiterschicht 24 (z.B. p-GaAl_{0,1}As) und die zweite Mantelschicht 29 (z.B. p-GaAl_{0,65}As), als Ringlaser ausbildet.

- 5 Dies verdeutlicht die in Figur 9b gezeigte eine Aufsicht auf den Halbleiterkörper. Die Schnittdarstellung gemäß Figur 9a entspricht einem senkrechten Schnitt entlang der Linie A-A.

Die kantenemittierende Halbleiterstruktur 21 weist in der
10 Aufsicht eine achteckige Form mit vierzähliger Rotationssymmetrie sowie eine quadratische zentrale Aussparung 38 auf. Die zu pumpende, in der Aufsicht kreisförmige Quantentopfstruktur 11 ist vollständig innerhalb des so gebildeten Achteckrings angeordnet. Dieser Achteckring bildet einen Ringre-
15 sonator in Form eines totalreflektierenden, geschlossenen Wellenleiters.

Im Betrieb schwingen in diesem Wellenleiter zyklisch umlaufende Ringmoden, beispielhaft dargestellt anhand der Moden
20 37a,b,c, an, die die Quantentopfstruktur 11 optisch pumpen. Aufgrund der Totalreflexion an den Außenflächen sind die Auskoppelverluste bei diesem Ausführungsbeispiel äußerst gering, so daß mit Vorteil das gesamte resonatorinterne Strahlungsfeld zum Pumpen der Quantentopfstruktur 11 zur Verfügung
25 steht.

Aufgrund der gezeigten Formgebung des Achteckrings sind die Ringmoden 37a, 37b und 37c im wesentlichen gleichberechtigt und breiten sich gleichförmig aus. Somit ergibt sich in ra-
30 dialer Richtung (entlang der Linie B-B) ein weitgehend homogenes Strahlungsfeld und entsprechend eine weitgehend gleichmäßige Pumpdichte in der zu pumpenden Quantentopfstruktur 11.

Der für einen Laserbetrieb der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 10 erforderliche zweite Spiegel ist bei
35 dem gezeigten Ausführungsbeispiel nicht in den Halbleiterkörper integriert, sondern als externer Spiegel vorgesehen (vgl.

auch Figur 13). Alternativ kann dieser zweite Spiegel auch in ähnlicher Weise wie der Spiegel 3 in nicht dargestellter Weise in dem Halbleiterkörper ausgebildet sein. In diesem Fall wäre der zweite Spiegel beispielsweise innerhalb des vorgesehenen Laserbereichs 15 zwischen der Bufferschicht 6 und der Quantentopfstruktur 11 anzuordnen.

In Figur 10 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtung in Aufsicht gezeigt. Im Unterschied zu dem vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist hier der totalreflektierende Wellenleiter als Kreisring gebildet. Die zu pumpende Quantentopfstruktur 11 ist vollständig innerhalb des Ringbereichs angeordnet.

Innerhalb des kreisringförmigen Resonators können eine Vielzahl von Ringmoden anschwingen. Die dargestellte Mode 39 zeigt lediglich ein mögliches Beispiel. Die Quantentopfstruktur 11 wird daneben von einer Vielzahl weiterer Moden mit hoher Effizienz gepumpt.

Wie sich aus Figur 10 ergibt, kann zur Vereinfachung auch auf die zentrale Aussparung 38 verzichtet werden, so daß der Resonator eine Vollkreisfläche als Querschnitt aufweist. Dadurch wird mit Vorteil der Herstellungsaufwand reduziert. Allerdings können dann bis zu einem gewissen Grad Moden anschwingen, die durch das Resonatorzentrum verlaufen. Diese Moden werden an der Resonatorbegrenzung nicht totalreflektiert und besitzen daher vergleichsweise hohe Auskoppelverluste, die letztendlich die Pumpeffizienz verringern.

In Figur 11a ist ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung gezeigt, bei dem die Quantentopfstruktur 11 von zwei voneinander unabhängigen Ringlasern gepumpt wird. Diese sind prinzipiell wie die Ringlaser des ersten Ausführungsbeispiels aufgebaut.

Die zugehörigen Wellenleiter 44,45 kreuzen sich in zwei Bereichen 46a,b, wobei im Bereich 46a die zu pumpende Quantentopfstruktur 11 angeordnet ist. Mittels dieser Anordnung mit zwei Ringlasern wird die Pumpdichte in der Quantentopfstruktur 11 weiter erhöht. Die wesentlichen Pumpmoden sind wiederum beispielhaft anhand der Moden 37a,b,c,d,e,f dargestellt. Mit Vorteil ergibt sich wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel dargelegt auch hier wieder eine weitgehend homogene Pumpdichte.

In Figur 11b ist eine vorteilhafte Variante der in Figur 3a dargestellten Anordnung gezeigt, die sich insbesondere dadurch auszeichnet, daß die Formgebung der sich kreuzenden, ringförmigen Wellenleiter 44 und 45 vereinfacht ist. Dazu sind die Querschnitte der zentralen Ausnehmungen 40 und 41 auf Dreiecke reduziert. Auf die zentrale Ausnehmung 42 und die in Figur 11a dargestellten seitlichen Ausnehmungen 43 wird verzichtet. Durch diese Vereinfachung wird mit Vorteil der Herstellungsaufwand verringert, ohne die Laserfunktion wesentlich zu beeinträchtigen.

Weitergehend könnte auch, wie in Figur 11b angedeutet, eine zweite Quantentopfstruktur 47 in dem zweiten Kreuzungsbereich 46b der beiden Ringlaser ausgebildet sein.

In Figur 12 ist schematisch zwei Verfahrensschritte zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtung gezeigt.

Das Verfahren beginnt wie bereits beschrieben und in den Figuren 2a, 2b und 2c dargestellt, mit der Aufbringung der Pufferschicht 6, der ersten Confinementschicht 12, der Quantentopfstruktur 11, der zweiten Confinementschicht 13 und der Braggspiegelschichten 3 auf ein Substrat 1, beispielsweise mittels MOVPE. Danach wird auf den als oberflächenemittierenden Laserbereichs 15 vorgesehenen Bereich dieser Schichtenfolge eine Ätzmaske 17 aufgebracht und der Stapel aus

Braggspiegelschichten 3, Confinementschichten 12 und 13, Quantentopfstruktur 11 und Teilen der Bufferschicht 6 außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs 15 entfernt. Auf den freigelegten Bereich der Bufferschicht 6 werden dann die erste Mantelschicht 28, die erste Wellenleiterschicht 23, die aktive Schicht 25, die zweite Wellenleiterschicht 24, die zweite Mantelschicht 29 und die Deckschicht 30 nacheinander beispielsweise wiederum mittels MOVPE aufgebracht (nicht dargestellt, vgl. Figur 2a,b,c).

Anschließend werden gemäß Figur 12a die Außenbereiche und der Zentralbereich der Halbleiterstruktur zur Bildung des totalreflektierenden, geschlossenen Wellenleiters abgetragen. Dies kann beispielsweise durch reaktives Ionenätzen unter Verwendung einer geeigneten, bekannten Maskentechnik erfolgen.

Die so hergestellten Seitenflächen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur erfordern keine optische Vergütung und bilden einen nahezu verlustfreien Ringlaserresonator.

Abschließend wird die Ätzmaske 17 entfernt, auf den Braggspiegel 3 die elektrisch isolierende Maskenschicht 7 aufgebracht und die Oberfläche mit einer p-Kontaktschicht 32 abgedeckt. Das Substrat wird mit n-Kontaktflächen 9 versehen (Figur 12b).

Die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung eignet sich insbesondere zur Anwendung in einem externen Resonator mit einem externen Spiegel 33 und einen teildurchlässigen konkaven Umlenkspiegel 34, in dem sich ein frequenzselektives Element 35 und/oder ein Frequenzverdoppler 36 befindet (vgl. Figur 13).

Vorteilhafterweise kann die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung über Modulation der Pumpquelle (durch Modulation des Pumpstromes) oder über Kurzschlußschaltung der oberflä-

chenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (vgl. Figur 14) moduliert werden.

5 Die oben beschriebenen Strukturen lassen sich nicht nur im beispielhaft verwendeten InGaAlAs-System, sondern beispielsweise auch im InGaN-, InGaAsP- oder im InGaAlP-System verwenden.

10 Bei einem Scheibenlaser im InGaN-System für eine Emission bei 470 nm bestehen die Quantenwells beispielsweise aus InGaN für 450nm-Emission, die Confinementschichten aus InGaN mit reduzierter Brechzahl und die Braggspiegel aus einem InGaAlN-System. Die Pumplaserstruktur weist einen aktiven Bereich mit
15 Quantenwells aus InGaN für Emission bei ca. 400nm, sowie Wellenleiterschichten und Mantelschichten aus GaAlN auf, bei denen die gewünschten Brechzahlen über Variation des Al-Gehalts eingestellt werden.

Patentansprüche

1. Optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit mindestens einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur (11) und mindestens einer Pumpstrahlungsquelle (20) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11), bei der die Pumpstrahlungsquelle (20) eine kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, daß**
- die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur (11) und die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) jeweils eine Halbleiterschichtenfolge aufweisen, die auf einem gemeinsamen Substrat (1) epitaktisch und nacheinander aufgewachsen sind.
2. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß**
- die strahlungsemittierende Quantentopfstruktur (11) und die Pumpstrahlungsquelle (20) derart nebeneinander angeordnet sind, daß ein strahlungsemittierender Bereich (22) der Pumpstrahlungsquelle (20) und die Quantentopfstruktur (11) auf gleicher Höhe über dem Substrat (1) liegen, so daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung Pumpstrahlung (2) seitlich in die Quantentopfstruktur (11) eingekoppelt wird.
3. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, daß**
- die Quantentopfstruktur (11) von der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) umschlossen ist, in der mittels mindestens eines Strominjektionspfades (26) auf der Oberfläche der Halbleiterlaservorrichtung (21) mindestens ein gewinngeführter strahlungsemittierender aktiver Bereich ausgebildet ist, der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.

4. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Quantentopfstruktur (11) von der kantenemittierenden
Halbleiterstruktur (21) umschlossen ist, in der mittels
5 mindestens eines Strominjektionspfades (26) auf der Ober-
fläche der Halbleiterstruktur in Verbindung mit entlang
dem Strominjektionspfad (26) ausgebildeten Gräben in der
Halbleiterstruktur (21) mindestens ein indexgeführter
strahlungsemittierender aktiver Bereich definiert ist,
10 der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.
5. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 3 oder 4
dadurch gekennzeichnet, daß
die der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur (11)
15 zugewandten Enden der Strominjektionspfade (26) zu dieser
einen Abstand von $10\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$ aufweisen.
6. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis
5,
20 dadurch gekennzeichnet, daß
zwei Pumpstrahlungsquellen (20) auf einander gegenüber-
liegenden Seiten der Quantentopfstruktur (11) angeordnet
sind, die im Betrieb Pumpstrahlung (2) in die Quanten-
topfstruktur (11) senden.
25
7. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis
5,
dadurch gekennzeichnet, daß
eine Mehrzahl von Pumpstrahlungsquellen (20) sternförmig
30 um die Quantentopfstruktur (11) angeordnet sind, die im
Betrieb Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11)
senden.
8. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 6 oder 7,
35 dadurch gekennzeichnet, daß
jeweils zwei auf einander gegenüberliegenden Seiten der
Quantentopfstruktur (11) angeordnete Pumpstrahlungsquel-

len (20) zusammen eine Laserstruktur zum optischen Pumpen mittels Laserstrahlung bilden.

9. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, daß
die Pumpstrahlungsquelle (20) mindestens einen Ringlaser aufweist.

10. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Quantentopfstruktur (11) innerhalb des Resonators des Ringlasers angeordnet ist.

11. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Resonator des Ringlasers von einem ringförmig geschlossenen Wellenleiter gebildet ist.

12. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) von einem Medium umgeben ist, dessen Brechungsindex geringer ist als der Brechungsindex der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21).

13. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) von Luft, einem anderen gasförmigen Medium oder einem Dielektrikum umgeben ist.

14. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

dadurch gekennzeichnet, daß

die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) als zylindrischer Körper mit kreisförmigem oder kreisringförmigem Querschnitt gebildet ist.

15. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

dadurch gekennzeichnet, daß

die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) als prismatischer Körper mit einem Querschnitt in Form eines Vielecks oder eines Vieleckrings gebildet ist.

16. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,

dadurch gekennzeichnet, daß

die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) mindestens eine zwischen eine erste (23) und eine zweite Wellenleiterschicht (24) eingebettete aktive Schicht (25) aufweist, die wiederum zwischen einer ersten (28) und einer zweiten Mantelschicht (29) eingebettet sind.

17. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 16,

dadurch gekennzeichnet, daß

die Grenzfläche zwischen kantenemittierender Halbleiterstruktur (21) und Quantentopfstruktur (11) zumindest teilweise reflektierend ist.

18. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17,

dadurch gekennzeichnet, daß

die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) mehrere aktive Schichten (25) aufweist, die mittels Tunnelübergänge in Reihe geschaltet sind, und die Quantentopfstruktur mehrere Quantentopfgruppen aufweist, die jeweils in Höhe einer aktiven Schicht (25) der kantenemittierenden

Halbleiterstruktur (21) liegen.

19. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß

5 die strahlungsemittierende Quantentopfstruktur (11) und
die Pumpstrahlungsquelle (20) übereinander auf dem Sub-
strat (1) angeordnet sind und daß die Quantentopfstruktur
(11) an die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21)
optisch gekoppelt ist, so daß im Betrieb der Halbleiter-
10 laservorrichtung Pumpstrahlung (2) in die Quantentopf-
struktur (11) geführt wird.

20. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet, daß

15 die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) eine erste
Wellenleiterschicht (23) und eine vom Substrat (1) gese-
hen dieser nachgeordnete zweite Wellenleiterschicht (24)
aufweist, zwischen denen eine aktive Schicht (25) ange-
ordnet ist und
20 daß die Quantentopfstruktur (11) auf der zweiten Wellen-
leiterschicht (24) epitaktisch aufgewachsen ist, nur ei-
nen Teilbereich der kantenemittierenden Halbleiterstruk-
tur (21) überdeckt und an diese optisch angekoppelt ist,
so daß zumindest ein Teil der in der kantenemittierenden
25 Halbleiterstruktur (21) erzeugten Pumpstrahlung (2) in
die Quantentopfstruktur (11) geführt wird.

21. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 20,
dadurch gekennzeichnet, daß

30 in der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) mit-
tels mindestens eines entsprechend strukturierten Strom-
injektionspfades (26) auf der Oberfläche der zweiten Wel-
lenleiterschicht (24) mindestens ein gewinngeführter
strahlungsemittierender aktiver Bereich ausgebildet ist,
35 der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.

22. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 21,

dadurch gekennzeichnet, daß

in der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) mittels mindestens eines entsprechend strukturierten Strominjektionspfades (26) auf der Oberfläche der zweiten Wellenleiterschicht (24) in Verbindung mit entsprechend geätzten Gräben in der zweiten Wellenleiterschicht (24) mindestens ein gewinngeführter strahlungsemittierender aktiver Bereich ausgebildet ist, der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.

23. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,

dadurch gekennzeichnet, daß

der Brechungsindex der zweiten Wellenleiterschicht (24) größer ist als der Brechungsindex der ersten Wellenleiterschicht (23).

24. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23,

dadurch gekennzeichnet, daß

die aktive Schicht (25) asymmetrisch in dem von den beiden Wellenleiterschichten (23, 24) ausgebildeten Wellenleiter plaziert ist.

25. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 24,

dadurch gekennzeichnet, daß

das Substrat (1) aus einem Material besteht, das für den in der Halbleiterlaservorrichtung erzeugten Laserstrahl (5) durchlässig ist und daß auf der vom Substrat (1) abgewandten Seite der Quantentopfstruktur (11) eine Resonatorspiegelschicht (3), insbesondere ein Bragg-Reflektor mit möglichst hohem Reflexionskoeffizienten, aufgebracht ist.

26. Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:

- 5 a) Aufbringen einer oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) mit mindestens einer Quantentopfstruktur (11) auf ein Substrat (1);
- b) Entfernen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs (15);
- 10 c) Aufbringen einer kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27) auf den durch das Entfernen der ersten Halbleiterschichtenfolge (14) freigelegten Bereich über dem Substrat (1), die geeignet ist, Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) zu senden und
- 15 d) Ausbilden von mindestens einem Strominjektionspfad (26) in der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27).

27. Verfahren nach Anspruch 26,

- 20 bei dem die Schritte a bis c folgende Einzelschritte aufweisen:
 - aa) Aufbringen einer Bufferschicht (6) auf das Substrat (1);
 - ab) Aufbringen einer ersten Confinementschicht (12) auf
 - 25 die Bufferschicht (6);
 - ac) Aufbringen einer für einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser geeigneten Quantentopfstruktur (11) auf die erste Confinementschicht (12);
 - ad) Aufbringen einer zweiten Confinementschicht (13) auf
 - 30 die Quantentopfstruktur (11);
 - ba) Entfernen der Confinementschichten (12,13) und der Quantentopfstruktur (11) und teilweise der Bufferschicht (6) außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs (15);
 - 35 ca) Aufbringen einer ersten Mantelschicht (28), einer ersten Wellenleiterschicht (23), einer aktiven Schicht (25), einer zweiten Wellenleiterschicht (24) und einer

zweiten Mantelschicht (29) nacheinander auf den freigelegten Bereich der Bufferschicht (6), wobei die jeweilige Schichtdicke derart ausgelegt ist, daß die in der aktiven Schicht erzeugte Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) gelangt.

28. Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:

a) Aufbringen einer kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27) auf ein Substrat (1);

b) Aufbringen einer oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) mit mindestens einer Quantentopfstruktur (11) auf die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge (27);

c) Entfernen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs (15) und

d) Ausbilden von mindestens einem Strominjektionspfad (26) in der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27).

29. Verfahren nach Anspruch 28,

bei dem die Schritte a) bis c) folgende Einzelschritte aufweisen:

aa) Aufbringen einer Bufferschicht (6) auf das Substrat (1);

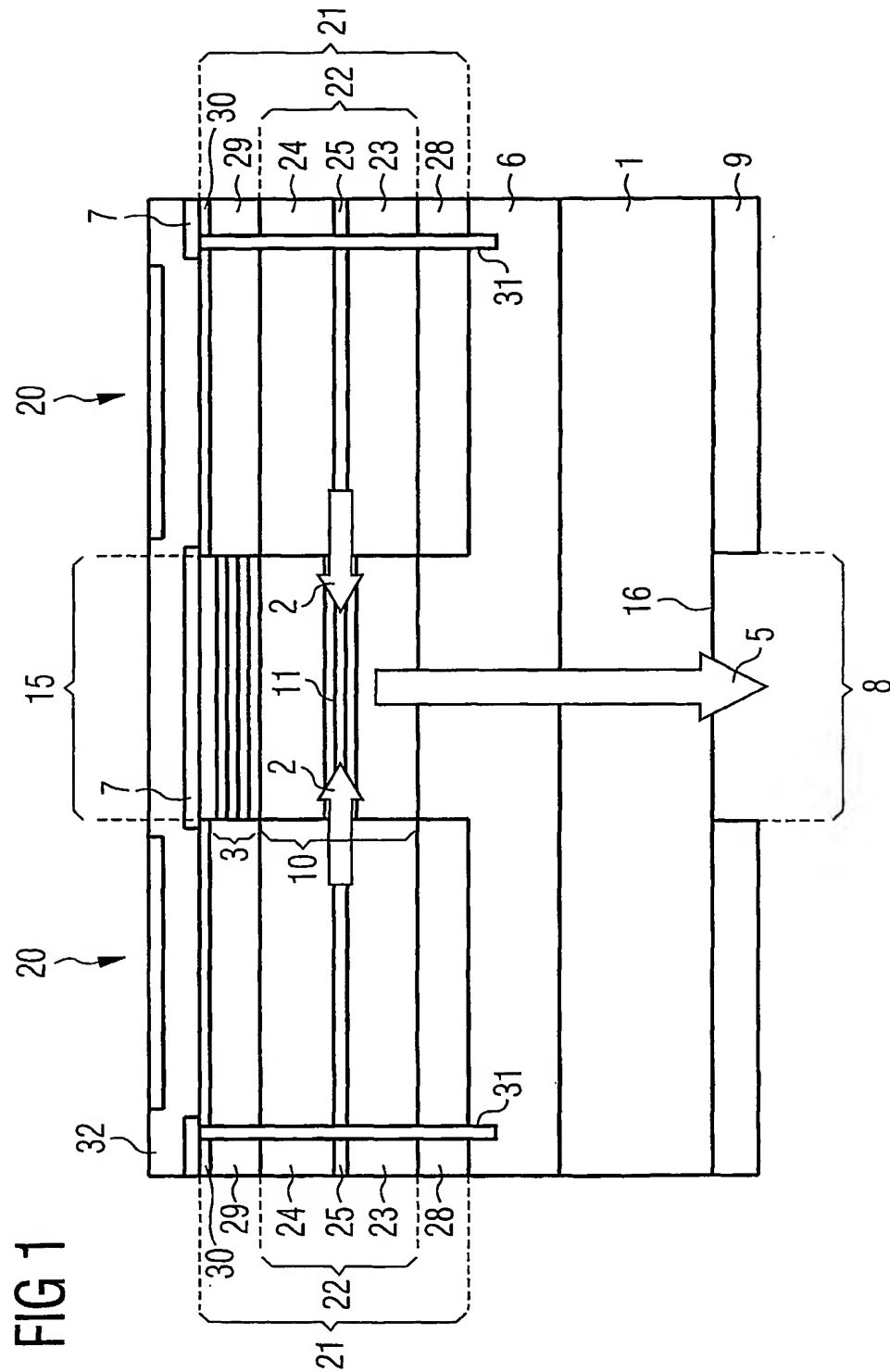
ab) Aufbringen einer ersten Wellenleiterschicht (23), einer aktiven Schicht (25) und einer zweiten Wellenleiterschicht (24) nacheinander auf die Bufferschicht (6),

ba) Aufbringen einer ersten Confinementschicht (12) auf die zweite Wellenleiterschicht (24);

bb) Aufbringen einer für einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser geeigneten Quantentopfstruktur (11) auf die erste Confinementschicht (12);

bc) Aufbringen einer zweiten Confinementschicht (13) auf die Quantentopfstruktur (11);

ca) Entfernen der Confinementschichten (12,13) und der Quantentopfstruktur (11) und teilweise der zweiten Wellenleiterschicht (24) außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs (15).



2/14

FIG 2a

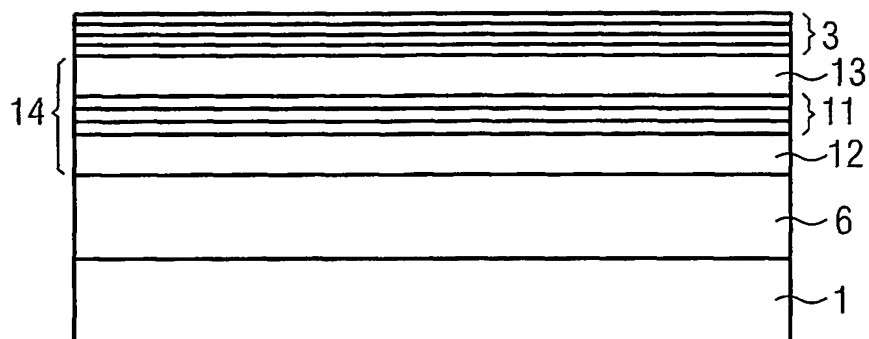


FIG 2b

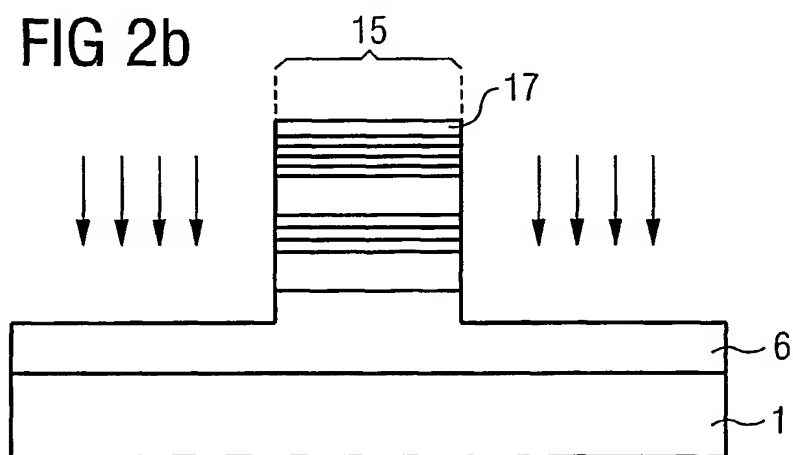
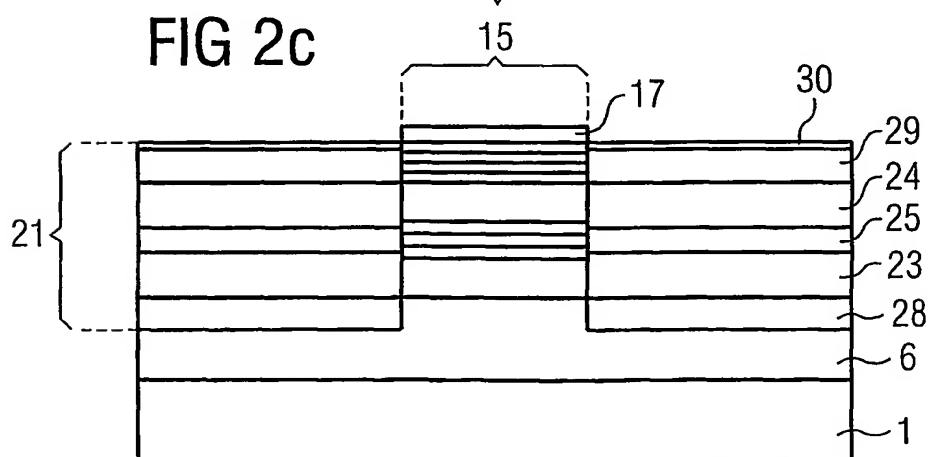


FIG 2c



3/14

FIG 2d

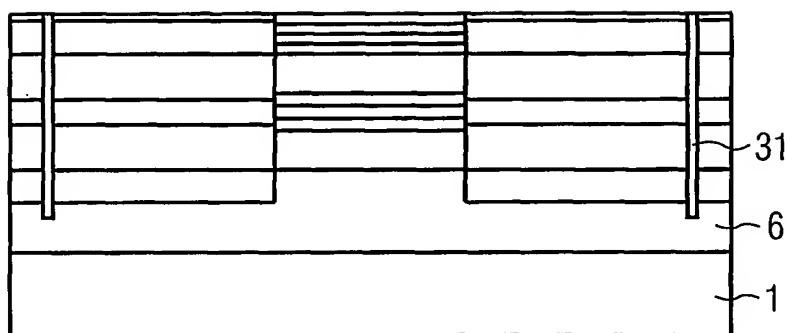
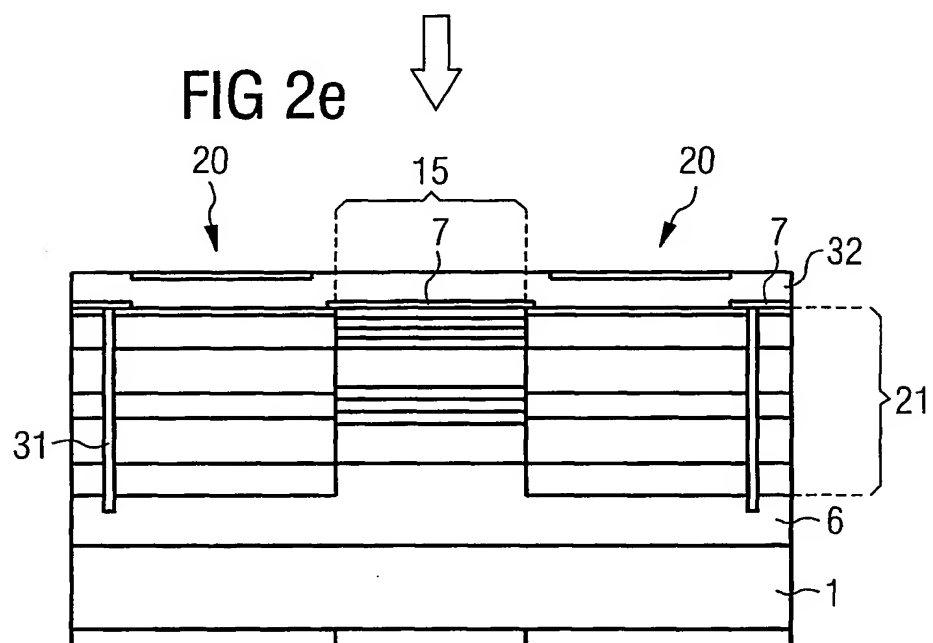


FIG 2e



5/14

FIG 4a

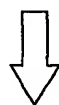
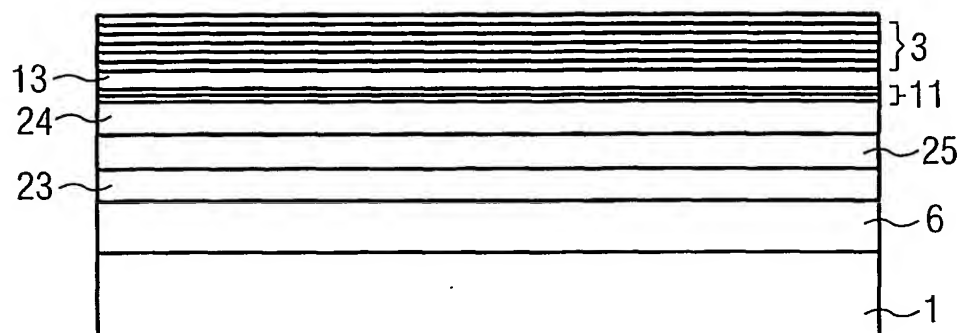


FIG 4b

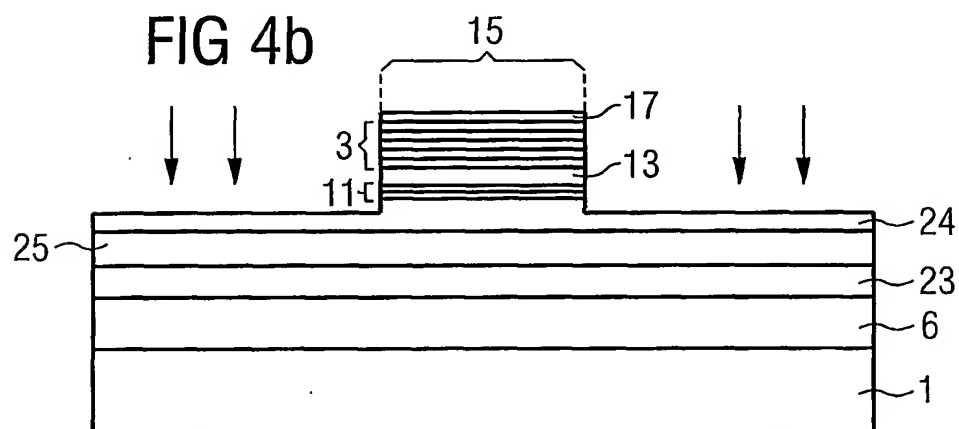
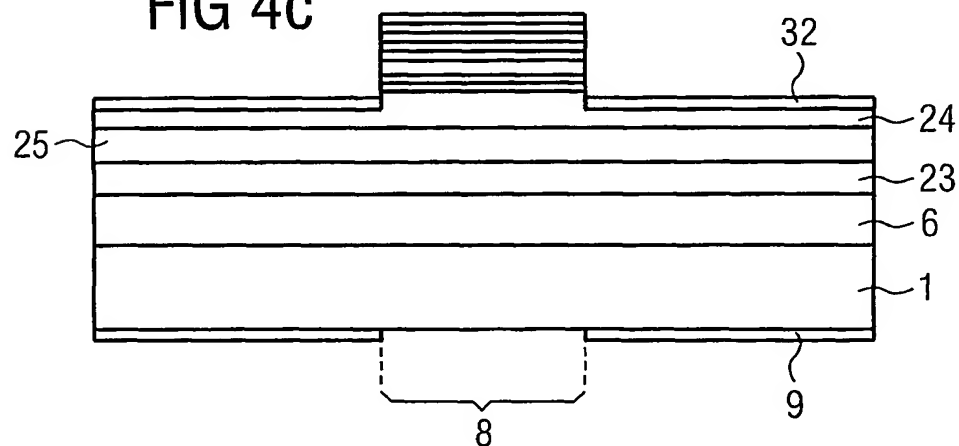


FIG 4c



6/14

FIG 5

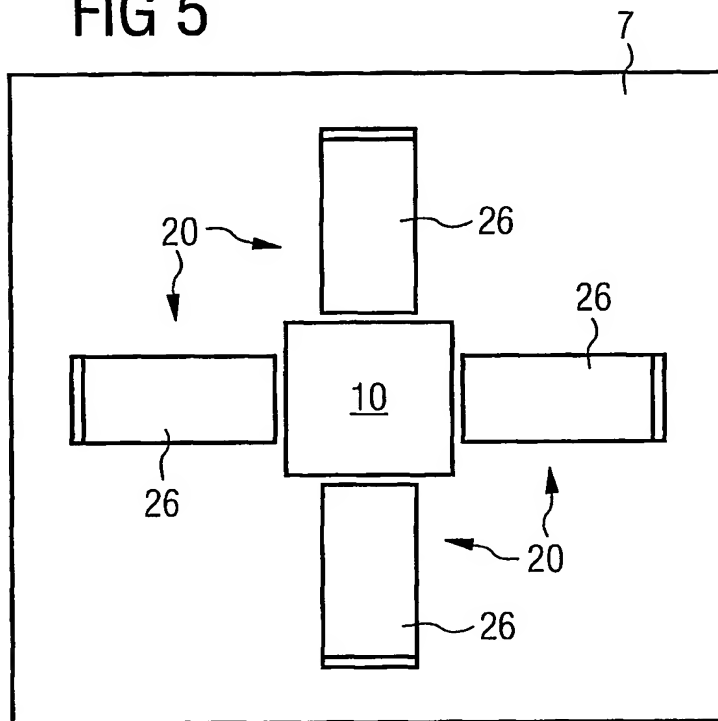
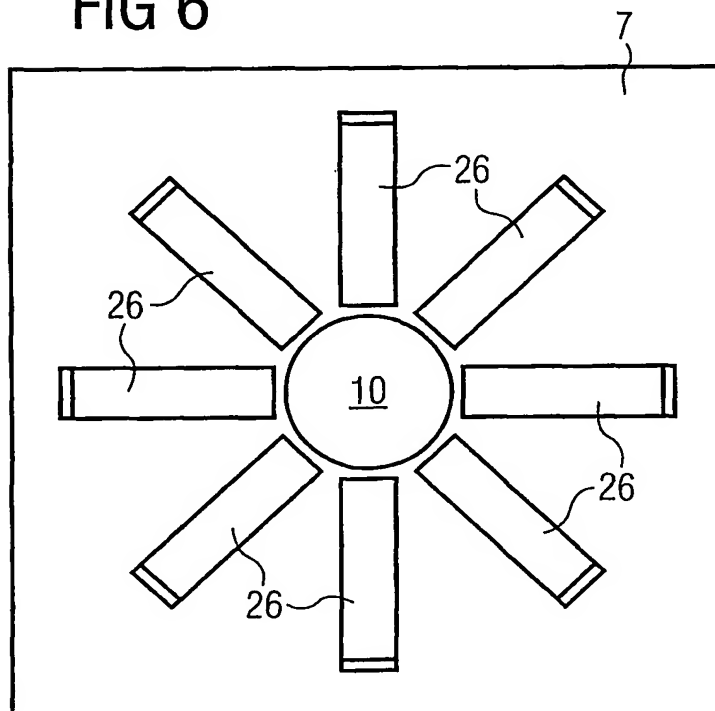
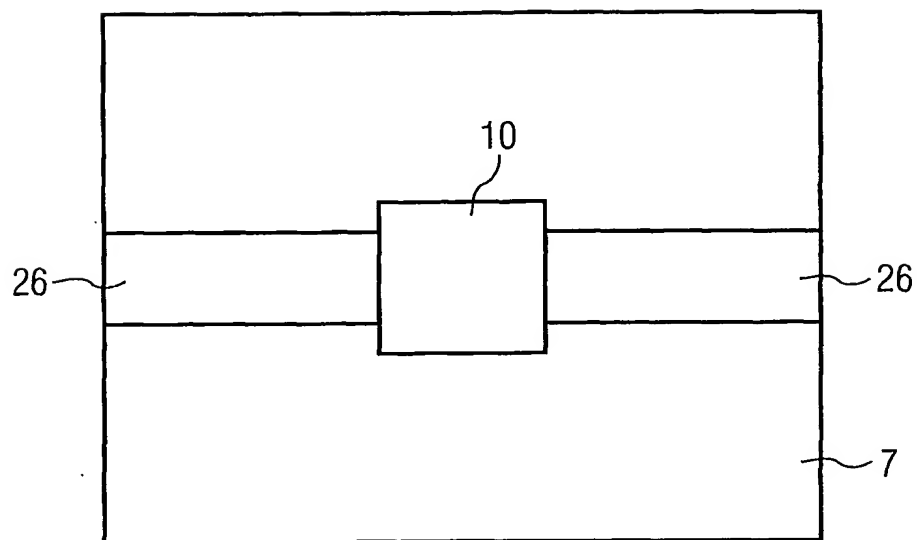


FIG 6



7/14

FIG 7



8/14

FIG 8b

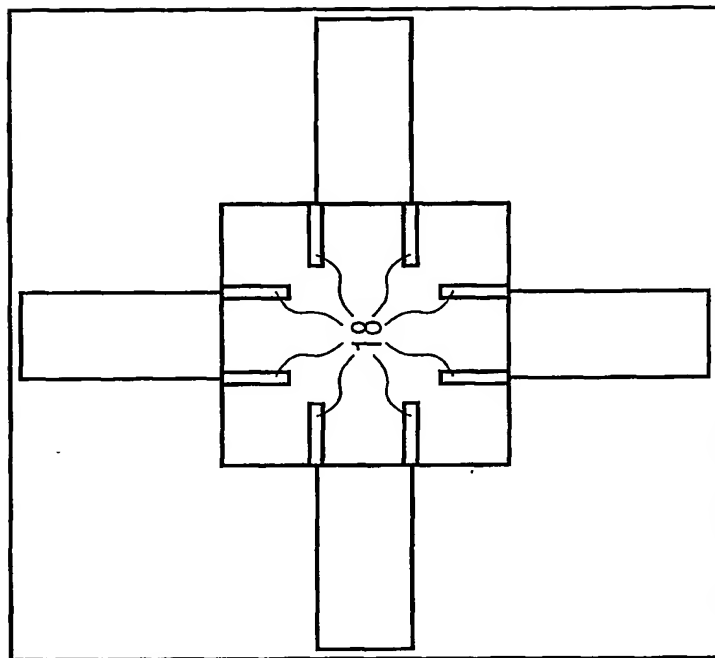
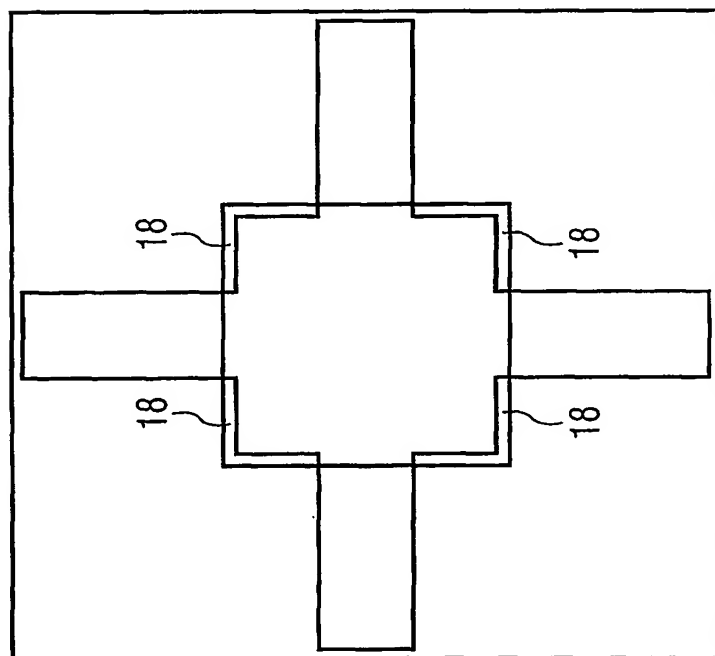
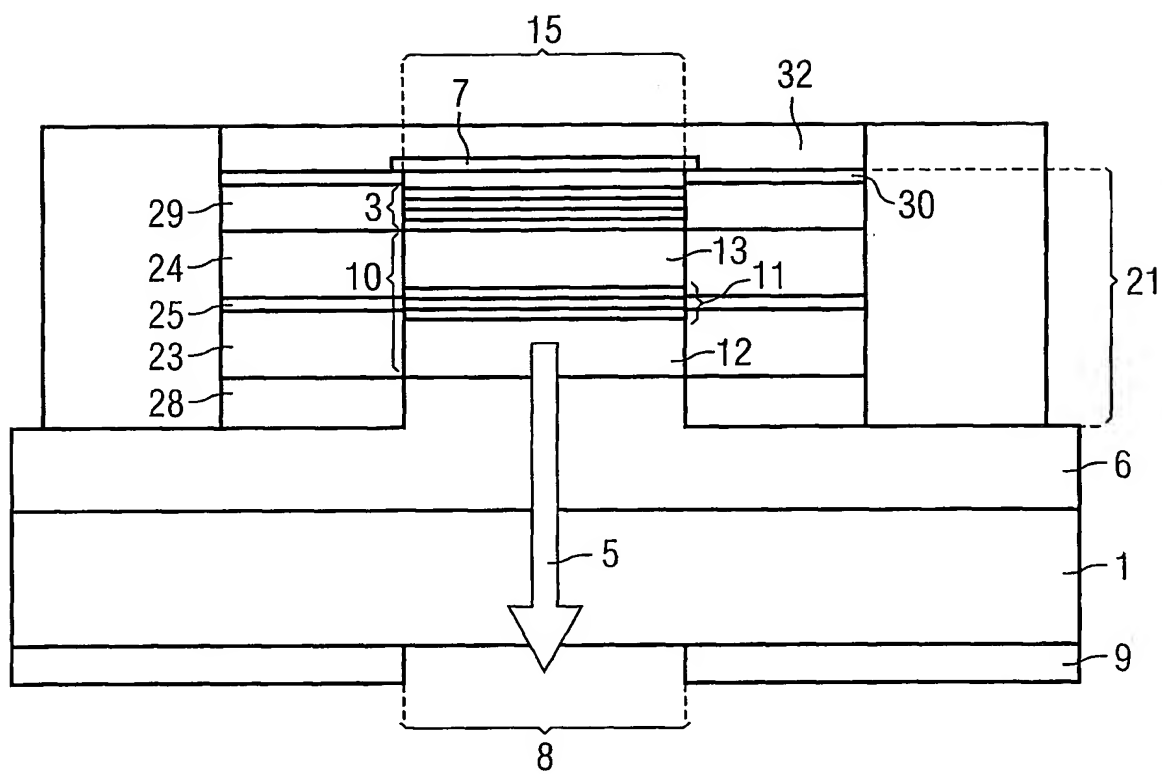


FIG 8a



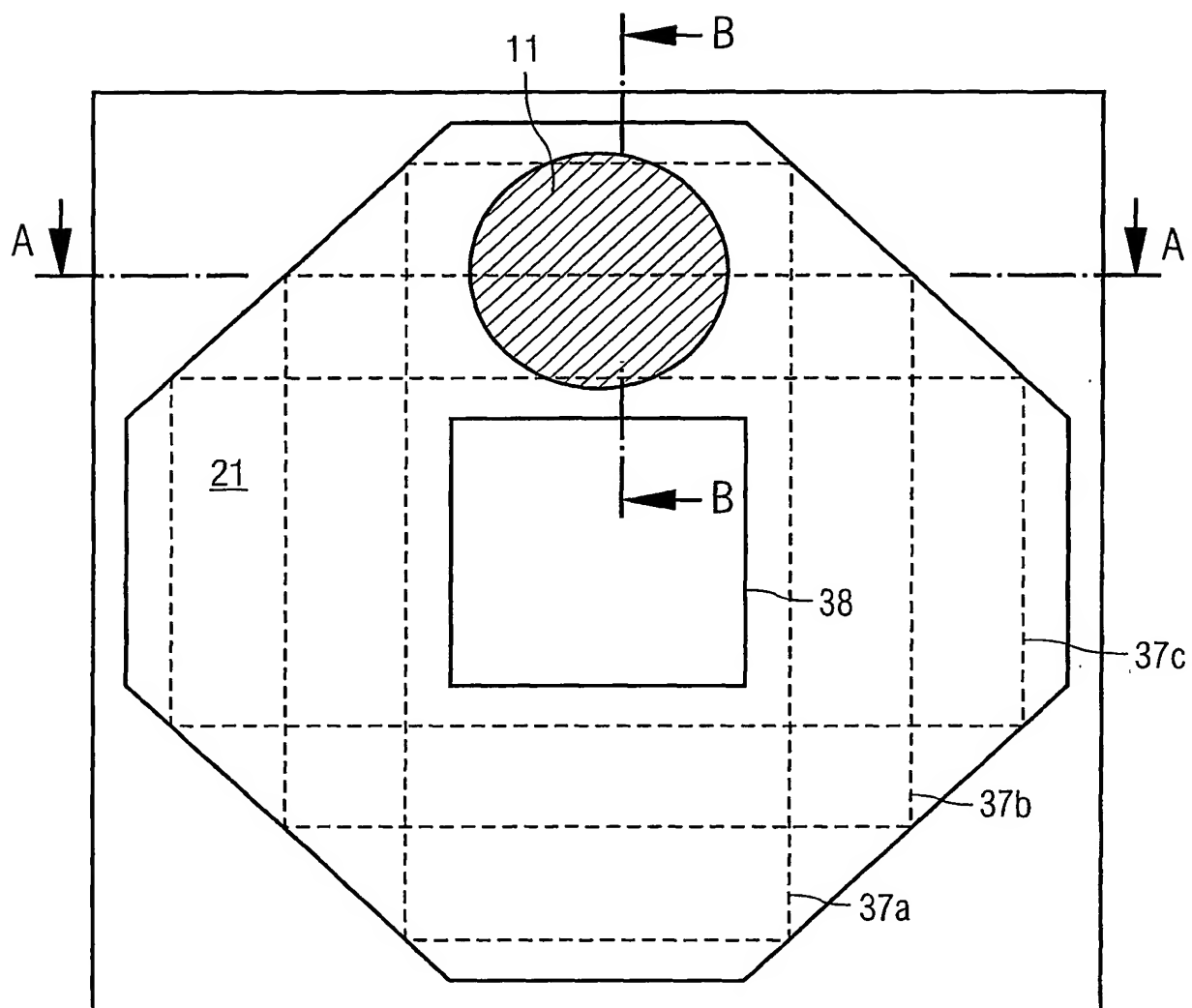
9/14

FIG 9a



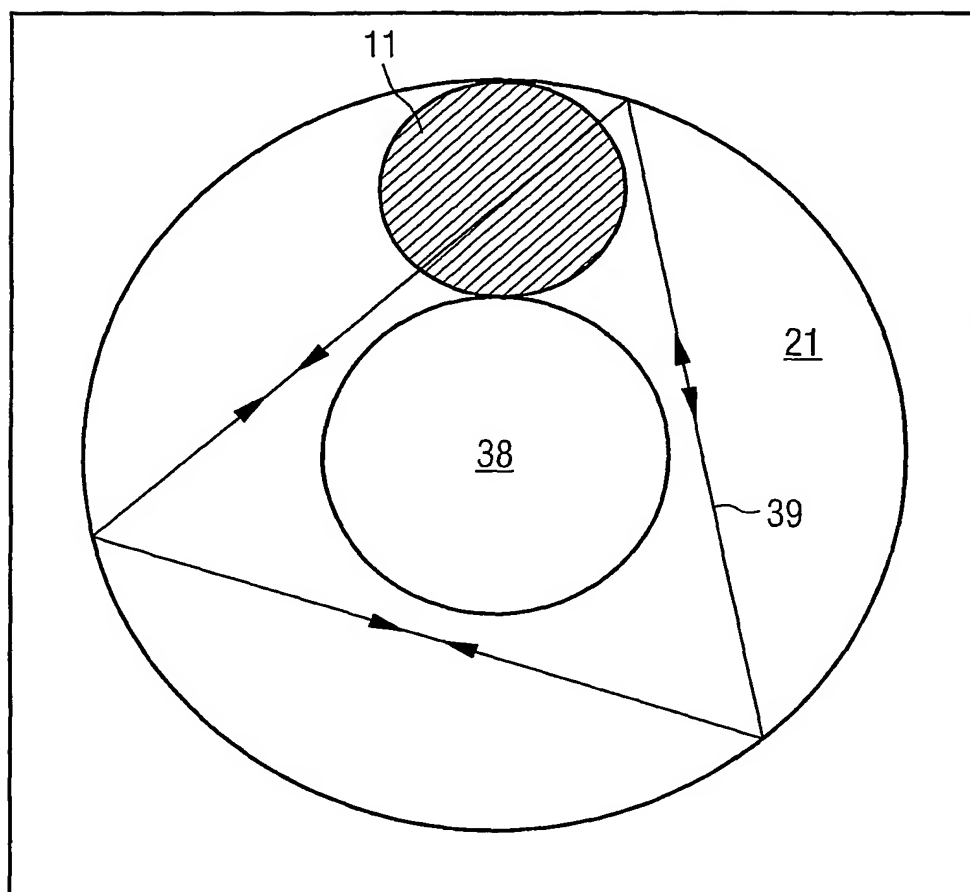
10/14

FIG 9b



11/14

FIG 10



12/14

FIG 11a

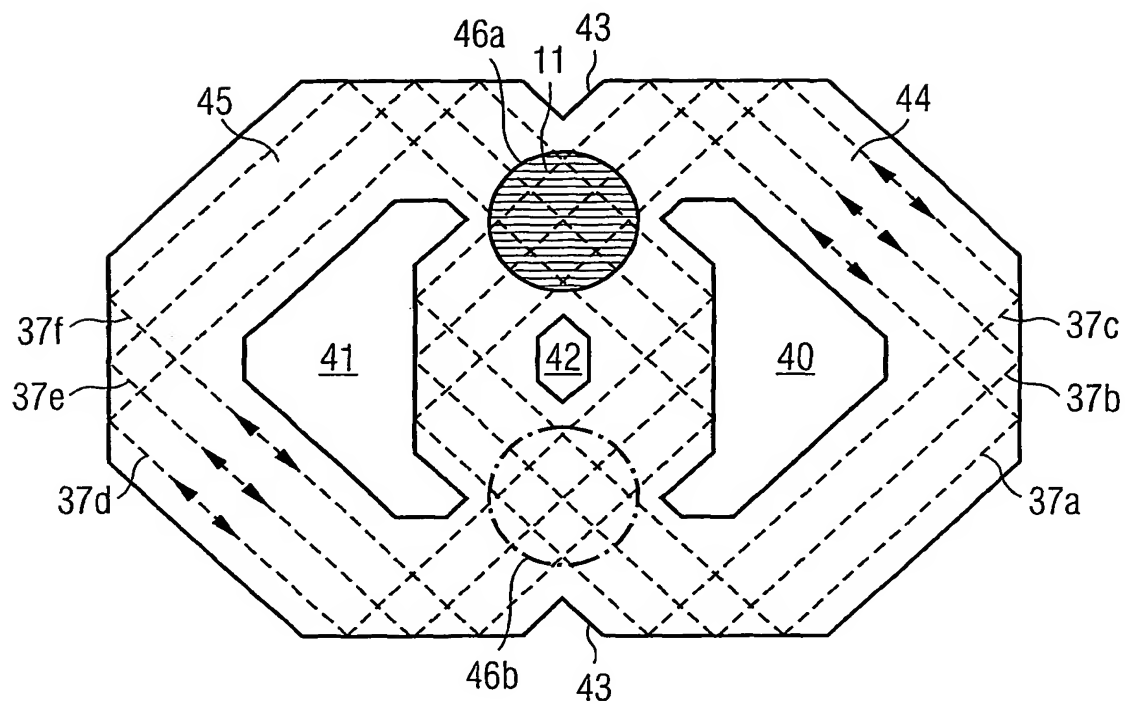


FIG 11b

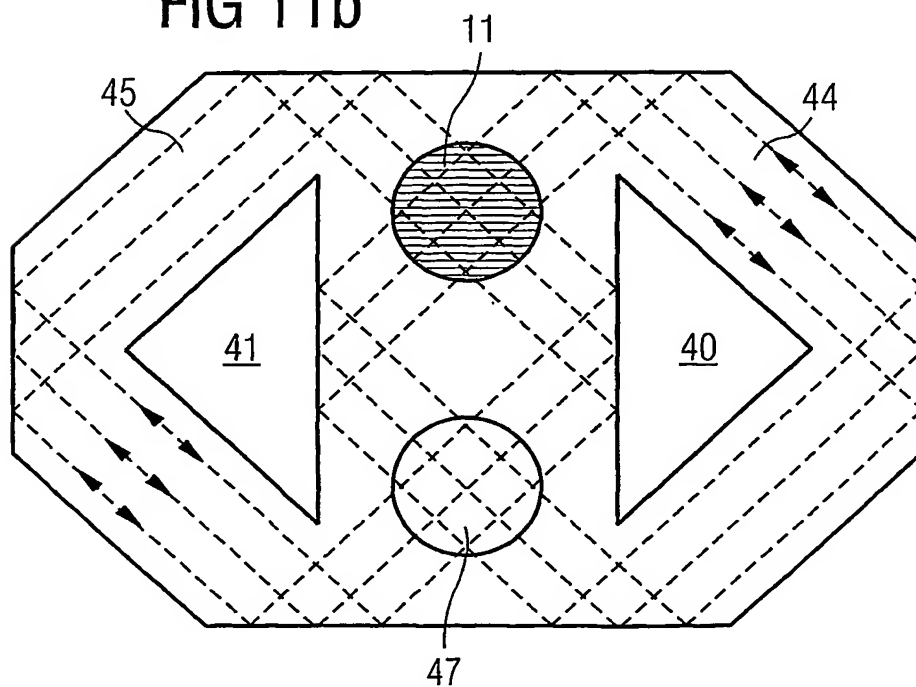


FIG 12a

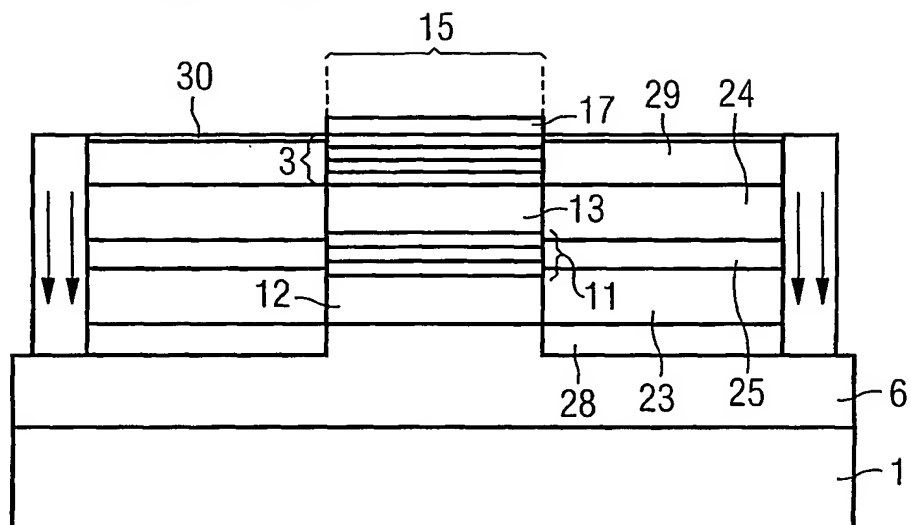
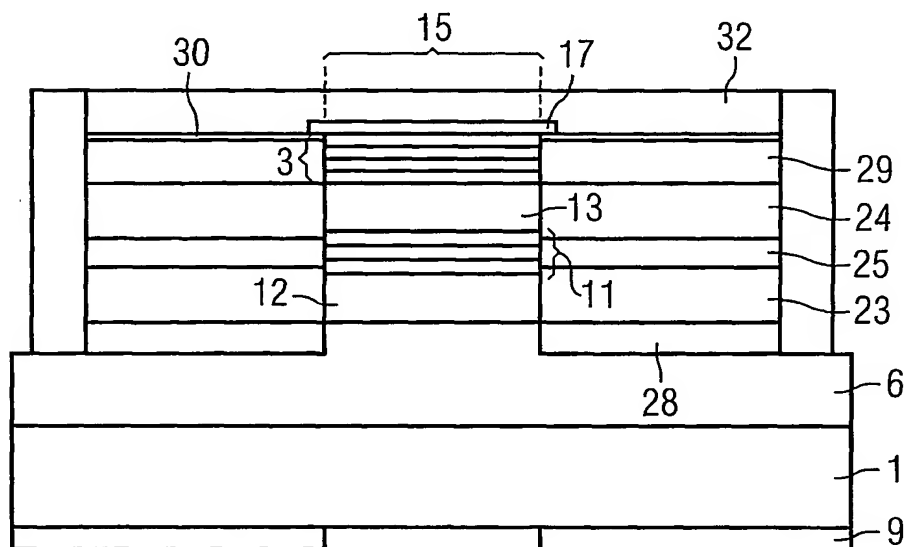


FIG 12b



14/14

FIG 13

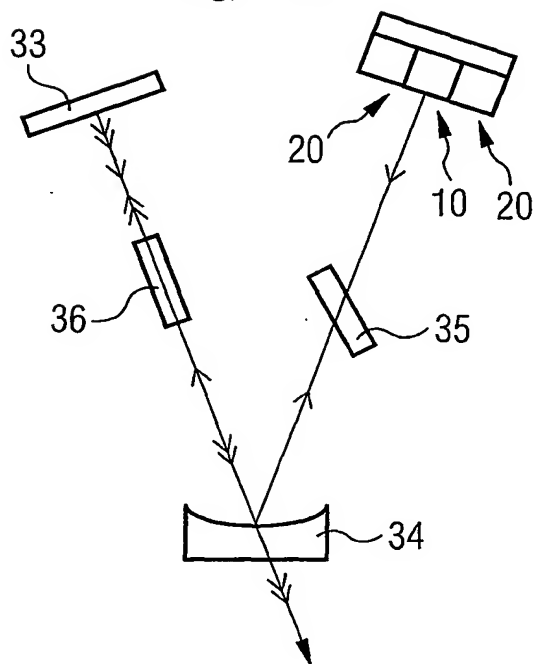
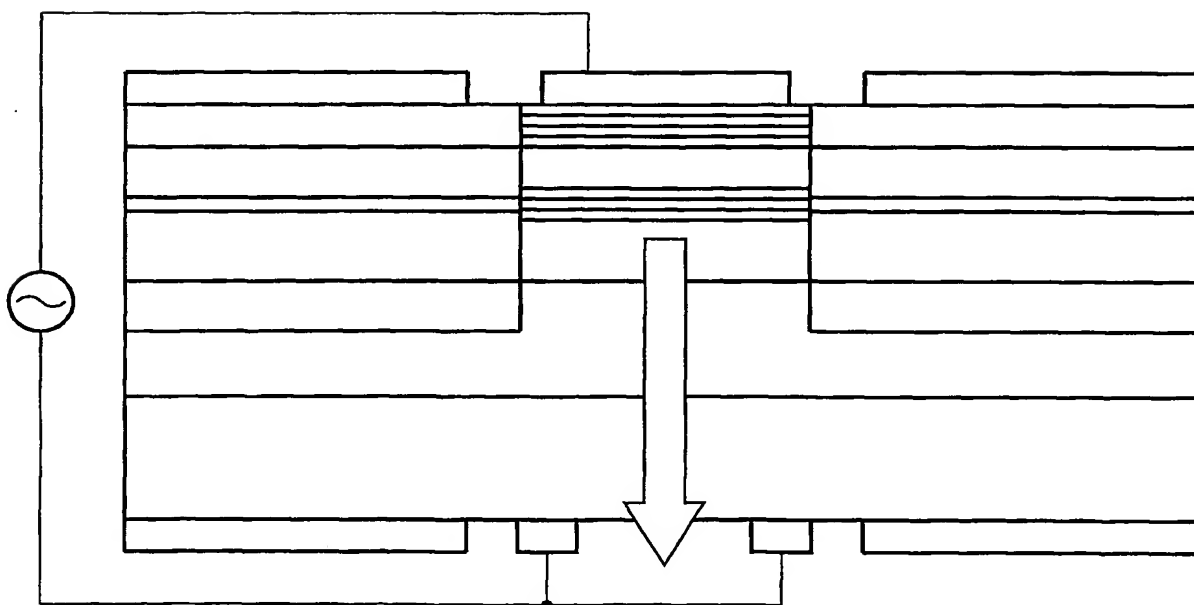


FIG 14



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 01/01849

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H01S5/183 H01S5/04 H01S5/026

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 01, 31 January 1996 (1996-01-31) -& JP 07 249824 A (HITACHI LTD), 26 September 1995 (1995-09-26) abstract | 1, 16, 26 |
| X | GERHOLD M D ET AL: "NOVEL DESIGN OF A HYBRID-CAVITY SURFACE-EMITTING LASER" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 34, no. 3, 1 March 1998 (1998-03-01), pages 506-510, XP000742645 ISSN: 0018-9197 * Kapitel II " figure 1 | 1, 2, 6, 16, 26 |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 August 2001

Date of mailing of the international search report

14/08/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gnugesser, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

I Application No

PCT/DE 01/01849

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | ONISCHENKO A I ET AL: "Prediction of a large optical bistability in hybrid-cavity surface-emitting lasers" IEEE PROCEEDINGS: OPTOELECTRONICS, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB, vol. 146, no. 1, 16 February 1999 (1999-02-16), pages 67-70, XP006013608 ISSN: 1350-2433 the whole document | 1,2,6, 16,26 |
| X | US 5 796 771 A (DENBAARS STEVEN P ET AL) 18 August 1998 (1998-08-18) figures 2,6,9 column 4, line 19-31 column 5, line 50 -column 6, line 8 column 7, line 50 column 9, line 8 -column 10, line 10 | 1,2,19, 28 |
| A | REDWING J M ET AL: "AN OPTICALLY PUMPED GAN-ALGAN VERTICAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 69, no. 1, 1 July 1996 (1996-07-01), pages 1-3, XP000599607 ISSN: 0003-6951 the whole document | 1 |
| A | BENJAMIN S D ET AL: "VERTICAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER WITH A SUBMONOLAYER THICK INAS ACTIVE LAYER" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 60, no. 15, 13 April 1992 (1992-04-13), pages 1800-1802, XP000273980 ISSN: 0003-6951 the whole document | 1 |
| E | WO 01 31756 A (E20 COMMUNICATIONS INC) 3 May 2001 (2001-05-03) the whole document | 1,19,28 |
| E | WO 01 33678 A (E20 COMMUNICATIONS INC) 10 May 2001 (2001-05-10) the whole document | 1,19 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

onal Application No

PCT/DE 01/01849

| Patent document cited in search report | | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| JP 07249824 | A | 26-09-1995 | NONE | |
| US 5796771 | A | 18-08-1998 | NONE | |
| WO 0131756 | A | 03-05-2001 | WO 0133678 A | 10-05-2001 |
| WO 0133678 | A | 10-05-2001 | WO 0131756 A | 03-05-2001 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/01849

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01S5/183 H01S5/04 H01S5/026

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, IBM-TDB, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|---|--------------------|
| X | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 01, 31. Januar 1996 (1996-01-31) -& JP 07 249824 A (HITACHI LTD), 26. September 1995 (1995-09-26) Zusammenfassung | 1,16,26 |
| X | GERHOLD M D ET AL: "NOVEL DESIGN OF A HYBRID-CAVITY SURFACE-EMITTING LASER" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, Bd. 34, Nr. 3, 1. März 1998 (1998-03-01), Seiten 506-510, XP000742645 ISSN: 0018-9197 * Kapitel II " Abbildung 1 | 1,2,6, 16,26 |

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. August 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/08/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Gnugesser, H

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|--|--------------------|
| X | ONISCHENKO A I ET AL: "Prediction of a large optical bistability in hybrid-cavity surface-emitting lasers" IEEE PROCEEDINGS: OPTOELECTRONICS, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, STEVENAGE, GB, Bd. 146, Nr. 1, 16. Februar 1999 (1999-02-16), Seiten 67-70, XP006013608 ISSN: 1350-2433 das ganze Dokument | 1,2,6, 16,26 |
| X | US 5 796 771 A (DENBAARS STEVEN P ET AL) 18. August 1998 (1998-08-18) Abbildungen 2,6,9 Spalte 4, Zeile 19-31 Spalte 5, Zeile 50 -Spalte 6, Zeile 8 Spalte 7, Zeile 50 Spalte 9, Zeile 8 -Spalte 10, Zeile 10 | 1,2,19, 28 |
| A | REDWING J M ET AL: "AN OPTICALLY PUMPED GAN-ALGAN VERTICAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 69, Nr. 1, 1. Juli 1996 (1996-07-01), Seiten 1-3, XP000599607 ISSN: 0003-6951 das ganze Dokument | 1 |
| A | BENJAMIN S D ET AL: "VERTICAL CAVITY SURFACE EMITTING LASER WITH A SUBMONOLAYER THICK INAS ACTIVE LAYER" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, Bd. 60, Nr. 15, 13. April 1992 (1992-04-13), Seiten 1800-1802, XP000273980 ISSN: 0003-6951 das ganze Dokument | 1 |
| E | WO 01 31756 A (E20 COMMUNICATIONS INC) 3. Mai 2001 (2001-05-03) das ganze Dokument | 1,19,28 |
| E | WO 01 33678 A (E20 COMMUNICATIONS INC) 10. Mai 2001 (2001-05-10) das ganze Dokument | 1,19 |

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

des Aktenzeichens

PCT/DE 01/01849

| Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument | | Datum der Veröffentlichung | Mitglied(er) der Patentfamilie | | Datum der Veröffentlichung |
|--|---|-------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------|
| JP 07249824 | A | 26-09-1995 | KEINE | | |
| US 5796771 | A | 18-08-1998 | KEINE | | |
| WO 0131756 | A | 03-05-2001 | WO 0133678 | A | 10-05-2001 |
| WO 0133678 | A | 10-05-2001 | WO 0131756 | A | 03-05-2001 |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.